

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE TEMPERATURA  
AUTOMATIZADO POR PROCESAMIENTO DE IMAGEN APLICADO AL CULTIVO DEL HONGO  
*PLEUROTUS OSTREATUS* (ORELLANA)**

**RAÚL ADOLFO AGÁMEZ ROJAS  
COD 2011270024**

**DANIEL CAMILO ROJAS CASTELLANOS  
COD 2012170043**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES ECCI  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE TEMPERATURA  
AUTOMATIZADO POR PROCESAMIENTO DE IMAGEN APLICADO AL CULTIVO DEL HONGO  
*PLEUROTUS OSTREATUS* (ORELLANA)**

**RAÚL ADOLFO AGÁMEZ ROJAS  
COD 2011270024**

**DANIEL CAMILO ROJAS CASTELLANOS  
COD 2012170043**

**Asesor  
M.Sc. Jorge Iván Padilla Buriticá**

**Anteproyecto de Investigación**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES ECCI  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2014**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	TITULO DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	9
2.1.	DESCRIPCIÓN .....	9
2.2.	FORMULACIÓN .....	10
3.	OBJETIVOS.....	11
3.1.	GENERAL:.....	11
3.2.	ESPECÍFICOS:.....	11
4.	JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN.....	12
4.1.	JUSTIFICACION .....	12
4.2.	DELIMITACIÓN .....	13
5.	MARCO REFERENCIAL.....	14
5.1.	MARCO TEORICO .....	14
5.2.	ANTECEDENTES.....	23
5.3.	MARCO HISTÓRICO .....	27
6.	ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROYECTO .....	28
6.1.	SENSORICA: Cuadros comparativos .....	30
6.1.1.	SENSORES DE TEMPERATURA .....	31
6.1.2.	SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA .....	32
6.1.3.	CONTROLADORES.....	33
6.1.4.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	34
6.1.4.1.	SENSORES .....	34
6.1.4.2.	CONTROLADOR .....	34
6.2.	ESPECIFICACIONES SOBRE LA SENSORICA.....	35
6.2.1.	SENSOR DE TEMPERATURA DS18S20 .....	35
6.2.1.1.	ASPECTO FÍSICO .....	35
6.2.1.2.	CARACTERÍSTICAS TECNICAS .....	36
6.2.1.3.	APLICACIONES.....	36
6.2.2.	SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DHT11 .....	37
6.2.2.1.	ASPECTO FÍSICO .....	37
6.2.2.2.	CARACTERÍSTICAS TECNICAS .....	37
6.2.2.3.	APLICACIONES.....	38
6.3.	ESPECIFICACIONES SOBRE EL CONTROLADOR.....	38
6.3.1.	GENERALIDADES TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO “UNO R3” .....	38
6.3.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	39
6.3.3.	ASPECTO FÍSICO.....	39
6.4.	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS ACTUADORES .....	50
7.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	40
7.1.	MARCO GEOGRÁFICO: Generalidades del municipio Tibirita .....	40
7.2.	COMERCIO DE ORELLANAS EN TIBIRITA .....	41
7.3.	ADECUACIÓN LOCATIVA .....	42
7.4.	MEDICIONES EN SITIO .....	43
7.4.1.	MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	43
7.4.2.	MEDICIÓN DE HUMEDAD.....	45

<b>7.5. METODOS DE CONTROL .....</b>	<b>45</b>
<b>7.5.1. METODOS DE CONTROL DE LA TEMPERATURA .....</b>	<b>47</b>
<b>7.5.2. METODOS DE CONTROL DE LA HUMEDAD .....</b>	<b>49</b>
<b>7.5.3. METODO DE CONTROL DE LA INTENSIDAD LUMINICA.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>7.6. CONTROL DIFUSO .....</b>	<b>50</b>
<b>7.6.1. GENERALIDADES DEL CONTROL DIFUSO .....</b>	<b>53</b>
<b>7.6.1.1. TIPOS DE SISTEMAS DIFUSOS .....</b>	<b>54</b>
<b>7.6.2. DISEÑO DEL CONTROLADOR DIFUSO .....</b>	<b>55</b>
<b>7.7. PROCESAMIENTO DE IMAGEN COMO ELEMENTO AUTOMATICE LA ACUALIZACIÓN DE PARAMETROS DEL CONTROLADOR DIFUSO .....</b>	<b>60</b>
<b>8. RECURSOS .....</b>	<b>60</b>
<b>9. CRONOGRAMA.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>70</b>

## INTRODUCCIÓN

Con la “reciente” entrada al país del hongo comestible Orellana, procedente del continente Asiático y dadas sus bondades nutricionales, se ha despertado un creciente interés en realizar su cultivo de diferentes maneras, pero también se ha generado un precavido proceder a la hora de comenzar, tan es así a nivel nacional, que los cultivos que se han detectado en su mayoría no se tienen tecnificados los procesos al no tratarse de grandes productores; Aún se sigue la técnica de cultivo en etapas individuales donde es necesaria la intervención humana en las distintas fases por las que pasa el cultivo, que busca la obtención de un producto de alta calidad mediante el control por chequeo constante, pero dando cabida a “riesgo y error humano”, que precisamente es lo que se busca eliminar con la automatización de los sistemas de control.

En cuanto al aprovechamiento de éste producto, al tratarse de un elemento que descompone residuos orgánicos, se ha evidenciado un campo de acción efectiva, de gran potencial económico y de participación que es el sector cafetero; Si consideramos el hecho de que Colombia es el cuarto país en la lista de productores de este grano a nivel mundial tan solo por debajo de Brasil, Vietnam e Indonesia respectivamente, se entiende entonces que el uso de la Orellana no se restringe tan solo a su consumo alimenticio sino que también a un uso más racional de aprovechamiento de residuos agroindustriales, además de su aplicación en el campo medicinal lo cual deja en evidencia que el hongo *Pleurotus* pasa a ser de un producto con alto contenido proteínico cuyo único uso considerado era para el consumo, a uno con un gran potencial de generar ingresos importantes si se tiene en cuenta el amplio rango de acción al no restringirse a un único mercado; Lo anterior ha sido percibido en diversas regiones del país entre las cuales se destacan la zona cafetera y Cundinamarca básicamente que son los puntos en donde se concentra una mayor producción del Hongo en la actualidad.

## **1. TITULO DE LA INVESTIGACIÓN**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE TEMPERATURA AUTOMATIZADO POR PROCESAMIENTO DE IMAGEN APLICADO AL CULTIVO DEL HONGO *PLEUROTUS OSTREATUS* (ORELLANA)”

Se busca desarrollar e implementar un sistema de control difuso aplicado a la temperatura de un cultivo de Orellanas, complementado con un controlador tipo On-Off de la humedad relativa en el cuarto del cultivo en sus fases de reproducción y fructificación, usando tanto la tecnología de arduino como la herramienta matemática MATLAB para controlar el sistema, y simular el comportamiento del mismo respectivamente.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. DESCRIPCIÓN**

Se pretende el logro de un sistema de control difuso de temperatura con una interfaz de usuario que permita consultar las condiciones actuales de un cultivo de Hongo Ostra haciendo uso de la tecnología del arduino UNO R3, para controlar además la humedad en el interior del cuarto de incubación del hongo; La automatización del sistema, una vez se presente la transición de la etapa reproductiva a la etapa de fructificación, se logrará por medio de procesamiento de imagen.

El diseño del controlador se hará basados en el conocimiento previo y adecuado del sistema donde se obtendrá una base de conocimiento que involucra tanto la base de datos como la base de reglas como punto de partida, también se hará uso del toolbox de FUZZY en cuanto a las directivas y análisis del controlador difuso (conjuntos de pertenencia y reglas de inferencia), y GUIDE como entorno de desarrollo de la interfaz de usuario final y cambio de parámetros de la planta por medio del procesamiento de imagen.

Respecto a la implementación, el bloque del controlador utilizará la tecnología de ARDUINO basada en el microcontrolador ATMEGA 328P-PU en el cual se programará la adquisición de datos, su transmisión y la determinación de cuándo activar la bomba que aumentará la humedad en el ambiente, además del logro de una interfaz gráfica de fácil manejo para el usuario final desarrollada en MATLAB. Para cumplir con lo propuesto anteriormente, se documenta sobre los componentes electrónicos necesarios (sensores y actuadores); Además se realiza un estudio sobre el estado del arte del cultivo de Orellanas a nivel nacional que deja en evidencia las generalidades sobre el cultivo de éste hongo, la manera tecnificada

como se obtiene, una referencia histórica de la inclusión de sistemas de control aplicados en el agro, además de la escala de producción a nivel nacional y los requerimientos específicos en cuanto a temperatura, humedad y condiciones de luz para lograr un producto de alta calidad, dicho documento se anexará al presente.

## **2.2. FORMULACIÓN**

Cómo diseñar, construir e implementar un sistema que sea capaz de mantener las condiciones necesarias de temperatura y humedad para un ambiente artificial tipo invernadero por control difuso de temperatura y on-off para la humedad, con procesamiento de imagen que automatice la actualización de las directivas del sistema una vez se presente la transición de la primera a la segunda y última etapa de un cultivo de Orellanas, además de una interfaz de visualización desarrollada en Matlab.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. GENERAL:

Diseñar, construir e implementar un sistema que sea capaz de mantener las condiciones necesarias de temperatura y humedad para un ambiente artificial tipo invernadero por control difuso de temperatura y On-Off de humedad, de un cultivo del hongo *Pleurotus Ostreatus*, que sean visualizadas por medio de una interfaz gráfica de usuario propia desarrollada con Matlab. Además, se utiliza procesamiento de imagen para la automatización del cambio de parámetros del sistema que atraviesa dos fases.

#### 3.2. ESPECÍFICOS:

1. Diseñar y desarrollar una planta para control difuso de temperatura y on-off de humedad:
  - a. Utilizando la tarjeta de desarrollo ARDUINO UNO R3 basada en el microcontrolador ATMEGA 328P-PU como controlador.
  - b. Definiendo un sistema modular que involucre el hardware de entrada y salida (sensores y efectores) de la planta.
2. Acoplar de manera correcta el sistema modular de la planta:
  - a. Logrando un sistema de adquisición de datos entre matlab y Arduino.
  - b. Obteniendo una gráfica de los datos obtenidos.
  - c. Implementando la etapa de potencia necesaria para cada actuador
3. Diseñar e implementar un controlador por software usando el toolbox de FUZZY de matlab:
  - a. Diseñando sus conjuntos de membresía y reglas de inferencia basados en el entendimiento adecuado del proceso.
  - b. Simulando el correcto funcionamiento del sistema y la automatización del cambio de controlador
  - c. Realizando una interfaz de visualización del comportamiento de la planta usando el toolbox de GUIDE de Matlab
4. Implementar el procesamiento de imagen que permita automatizar el cambio de parámetros del controlador de las condiciones del cultivo.
  - a. Identificando los métodos necesarios y adecuados para ésta labor específica.
  - b. Documentando los algoritmos empleados y evidenciando el resultado final.

## 4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

### 4.1. JUSTIFICACION

El diseño e implementación del sistema propuesto, genera la posibilidad de obtener de manera tecnificada, optimizando los tiempos de producción de la siembra de la Orellana, logrando un producto de alta calidad que pueda ser utilizado para el consumo de distintas formas, o para el aprovechamiento del material de desecho agroindustrial, sin que signifique una gran inversión ya que se trata de un sistema de control difuso de bajo coste.



Figura 1 Orellana Cultivada<sup>1</sup>

Se busca, por medio de una aplicación diseñada de tal manera que sea lo más amigable para el usuario final, generarle a éste un beneficio con la posibilidad de acceder a la información actualizada de los datos relevantes del cultivo automatizado cuando éste lo desee.

---

<sup>1</sup> Tomado de: <http://orellanaspuntoco.wordpress.com/tag/hongos-comestibles/>

## **4.2. DELIMITACIÓN**

Si bien las bondades de realizar este tipo de cultivo son evidentes para consumo o para aprovechamiento de desechos agroindustriales, no es finalidad del presente proyecto conformar una empresa, y se advierte que los resultados de la comercialización del producto final, si es que se desea emular el cultivo y /o partir de los resultados aquí mencionados para ello, dependerá en gran parte de las habilidades empresariales de quien así lo desee, así como de las modificaciones que se consideren pertinentes en cada caso.

Dentro de las limitaciones del cultivo, imperan las necesidades de tipo locativo, más se entiende que manteniendo ciertas condiciones propicias para el crecimiento del hongo, éste se dará incluso en las regiones del país con climas no característicos para el desarrollo del mismo e incluso áreas de tamaño considerablemente reducido.

Los alcances del presente proyecto, pueden ser básicamente sistemas en los que el control difuso sea una buena opción, y para todos aquellos casos en donde complementar el proceso con un procesamiento de imagen bastante simple contribuya a lograr los propósitos principales siendo éste posible e incluso necesario.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1. MARCO TEORICO

#### INTRODUCCIÓN AL CULTIVO DE ORELLANAS

##### GENERALIDADES DE LAS ORELLANAS: un primer acercamiento

El nombre científico de la Orellana es hongo *Pleurotus* SPP, el término SPP referente a las especies puede cambiar según la clasificación de la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 1.

SPP	<i>Pulmonarius</i>	<i>Ostreatus</i>
Clima	Cálido	Frío

La Orellana, también conocida como oreja blanca es un tipo de hongo de origen chino; Debido a la consistencia de las setas, *con frecuencia se les denomina como «carne vegetal»*, dicho apelativo denota una característica muy importante de estos hongos, ya que pueden adecuarse con facilidad a diferentes preparaciones culinarias y su valor nutritivo comparado con otros alimentos es aceptable. Estas características hacen de las setas un complemento alimenticio de gran valor.<sup>2</sup>

La mayoría de las callampas no son comestibles, debido a sabores amargos, picantes, etc. Otros, más peligrosos aun, pueden ser tóxicas, produciendo desde leves malestares estomacales hasta la muerte, incluso puede suceder que el hongo resulte agradable al paladar y no mostrar síntomas de intoxicación de inmediato, pero sí a mediano y largo plazo por acumulación de toxinas. Por estas razones, no es saludable comer hongos silvestres sin conocimiento previo sobre cuáles son las especies comestibles.

Muchas de las propiedades benéficas y culinarias de las callampas fueron descubiertas en forma empírica, mediante prueba y error, en el pasado se utilizaban los esclavos para saber si un determinado hongo era venenoso, hoy en día se debe usar el conocimiento o abstenerse de probar hongos silvestres.

---

<sup>2</sup> Tomado de: *Manual Práctico del Cultivo de Setas, aislamiento, siembra y producción*, Rigoberto Gaitán Hernández, Dulce Salmones, Rosalia Perez Merlo, Gerardo Mata

Resaltamos en este punto que los hongos perjudiciales para la salud se encuentran en la clasificación de hongos imperfectos y se caracterizan por sus colores vivos como el rojo y el naranja e incluso puntos en sus sombreros como se muestra a continuación.



Figura 2. Hongos silvestres <sup>3</sup>

Existe una clasificación de los hongos en lignícolas (de pudrición blanca) y micorrícicos, los primeros crecen a gracias a la descomposición de cualquier tipo de producto agrícola rico en fibra y los segundos deben su existencia a las raíces de las plantas. La Orellana se encuentra entre los hongos Lignícolas, lo cual evidencia una facilidad de cultivo en bolsas; Además de una variedad de funcionalidades atrayentes cada vez más para los cultivadores del País a nivel nutricional, medicinal y comercial.

En la tabla 2 se presentan algunas especificaciones del Hongo *Pleurotus*:

Tabla 2

<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<i>Pleurotus Ostreatus</i>
<b>NOMBRES COMUNES</b>	Oreja blanca, Hongo Ostra, Orellana, Carne Vegetal, Hongo plano, Orejón, Seta de Ostra
<b>TIPO DE PROPAGACIÓN</b>	Esporulación
<b>ALIMENTACIÓN</b>	Saprófita(material vegetal muerto o en descomposición)

<sup>3</sup>Tomado de <http://circuitoaleph.net/2012/01/26/los-hongos-alucinogenos-podrian-ayudar-a-combatir-enfermedades-como-la-depresion/>

## ➤ USOS DE LA ORELLANA: Propiedades, contenido nutricional y algunas preparaciones

### Propiedades

- *Antitumoral*
- *Coadyudante en la correcta función de las células defensivas*
- *Retardante del crecimiento de células cancerosas*
- *Estimula el sistema inmune*
- *Actúa combatiendo infecciones virales y bacterianas, contribuye al tratamiento del SIDA.*
- *Combate enfermedades autoinmunes como Artritis reumatoide y Lupus.*
- *Contiene diferentes polisacáridos de bajo peso molecular y sustancias similares a la Zeatina, las cuales contienen Citoquinina, sustancias similares a fitohormonas con efector antivirales.*
- *Es un antiinflamatorio*
- *Es funguicida y antibiótica.<sup>4</sup>*
- **Contenido nutricional:**

*Las orellanas frescas aportan muy pocas calorías, son 99% libres de grasa, ricas en fibra y bajas en sodio. Una porción de 100 gramos de orellanas aporta 20% de la fibra dietaria, 30% del magnesio (Mg) y 13 % del potasio (K) de las necesidades de la dieta diaria de un hombre entre 30 y 50 años.*

*Se destaca su alto contenido proteico digerible hasta en 80%. Contienen tiamina (vitamina B), riboflavina (vitamina B2), piridoxina (B6), ácido pantoteico, biotina, ácido fólico, nicotinamida, ácido ascórbico (vitamina C) y ergosteina (provitamina D) y minerales como fósforo, hierro, calcio y potasio, además el contenido apreciable de ácidos grasos esenciales como oleico y linoléico las convierte en un complemento alimenticio.<sup>5</sup>*

---

<sup>4</sup> Tomado de : <http://casorellana.com/wp-content/uploads/2011/12/Cat%C3%A1logo-Coma-Sano.pdf>

<sup>5</sup> Tomado de <http://orellanas.co/>

A continuación se presentan una serie de diversas preparaciones con la Orellana como ingrediente principal, seguido de una tabla que contrasta el contenido nutricional de varios hongos comestibles:



Figura 3. Diversas preparaciones de la Orellana<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup>Tomado de <http://casorellana.com/wp-content/uploads/2011/12/Cat%C3%A1logo-Coma-Sano.pdf>

	Champiñón (por 100g de porción comestible)	Pleurotus (por 100g de porción comestible)	Shiitake (por 100g de porción comestible)	CDR hombres	CDR mujeres
Energía (Kcal)	26	26	34	3.000	2.300
Proteínas (g)	1,8	1,8	2,24	54	41
Lípidos totales (g)	0,3	0,3	0,49	<100	<77
AG saturados (g)	0,07	0,07	-	<23	<18
AG monoinsat. (g)	Trazas	Trazas	Trazas	>57	>43
AG poliinsat. (g)	0,17	0,17	-	10-20	8-15
Ω-3 (g)	0,133	0,133	-	0,33-3,3	0,25-2,6
Ω-6 (g)	0,032	0,032	-	1,3-16,5	1,2-10,4
Colesterol (mg)	0	0	0	<300	<230
Hidratos de C (g)	4	4	6,79	375-450	288-345
Fibra (g)	2,5	2,5	2,5	38	29
Agua (g)	91,4	91,4	89,74	1.000-2.000	1.000-2.000
Calcio (mg)	9	9	2	800	800
Hierro (mg)	1	1	0,41	10	18
Yodo (µg)	3	3		140	110
Magnesio (mg)	14	14	20	350	330
Zinc (mg)	0,1	0,1	1,03	15	15
Sodio (mg)	5	5	9	<2.400	<2.400
Potasio (mg)	470	470	304	3.500	3.500
Fósforo (mg)	115	115	112	700	700
Selenio (µg)	9	9	5,7	70	55
Tiamina (mg)	0,1	0,1	0,015	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,41	0,41	0,217	1,8	1,4
Niacina (mg)	4,6	4,6	3,877	20	15
Vitamina B6 (mg)	0,1	0,1	0,293	1,8	1,6
Ácido fólico (µg)	23	23	18	400	400
Vitamina B12 (µg)	0	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	4	4	0	60	60
Vitamina A (µg)	0	0	0	1000	800
Vitamina D (µg)	18	-	0,5	5	5
Vitamina E (mg)	0,12	0,12	0	12	12

Figura 4. Tabla del contenido nutricional de distintos tipos de hongos comestibles.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>Tomado de <http://sanando-gillianleyva.blogspot.com/2013/06/propiedades-medicinales-y-nutritivas-de.html>

A continuación se presentan dos figuras de tablas en donde se evidencian las bondades nutricionales de la llamada Carne Vegetal tanto fresca como deshidratada

**Tabla nutrimental de las setas (*Pleurotus*) frescas:**

Calorías		33
	Cantidades por porción (100g.)	% Recomendado diario
Grasas totales	0g	0%
Grasas saturadas	0g	0%
Colesterol	0mg	0%
Sodio	33mg	1%
Total Carbohidratos	3g	1%
Fibra dietética	<1g	3%
Azúcares	<1g	
Proteínas	4.4g	
Vitamina A		0%
Vitamina C		0%
Calcio		0%
Hierro		0%

Figura 5. Tabla del contenido nutricional de la Orellana Fresca<sup>8</sup>

**Tabla nutrimental de las setas (*Pleurotus*) deshidratados:**

Tamaño de la porción	7 gramos	
	Cantidad en base a la porción	% Diario recomendado
Calorías	25	
Total Grasas	0g	0%
Grasas saturadas	0g	0%
Colesterol	0mg	0%
Sodio	5mg	1%
Total Carbohidratos	4g	1%
Fibra	0.5g	3%
Azúcares	0g	
Proteínas	2g	
Vitamina A		0%
Vitamina C		0%

Figura 6. Tabla del contenido nutricional de la Orellana Deshidratada<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Tomado de <http://sanando-gillianleyva.blogspot.com/2013/06/propiedades-medicinales-y-nutritivas-de.html>

<sup>9</sup> Tomado de <http://sanando-gillianleyva.blogspot.com/2013/06/propiedades-medicinales-y-nutritivas-de.html>

## ➤ CULTIVO DE ORRELLANAS: hongos comestibles

El cultivo de hongos es una actividad que perfectamente puede datar de hace unos 200 años en Europa Con el champiñón y en Asia con el Shitake.

El proceso de cultivo de la Orellana atraviesa por diferentes etapas cada una de las cuales puede ser entendida como un proceso con parámetros de variables como temperatura, humedad e intensidad lumínica propios. A continuación se presenta una figura en la cual se entiende un poco más el ciclo de cultivo de éstos hongos, especificando que el presente proyecto se ocupa de las etapas 6 y 7 del proceso.

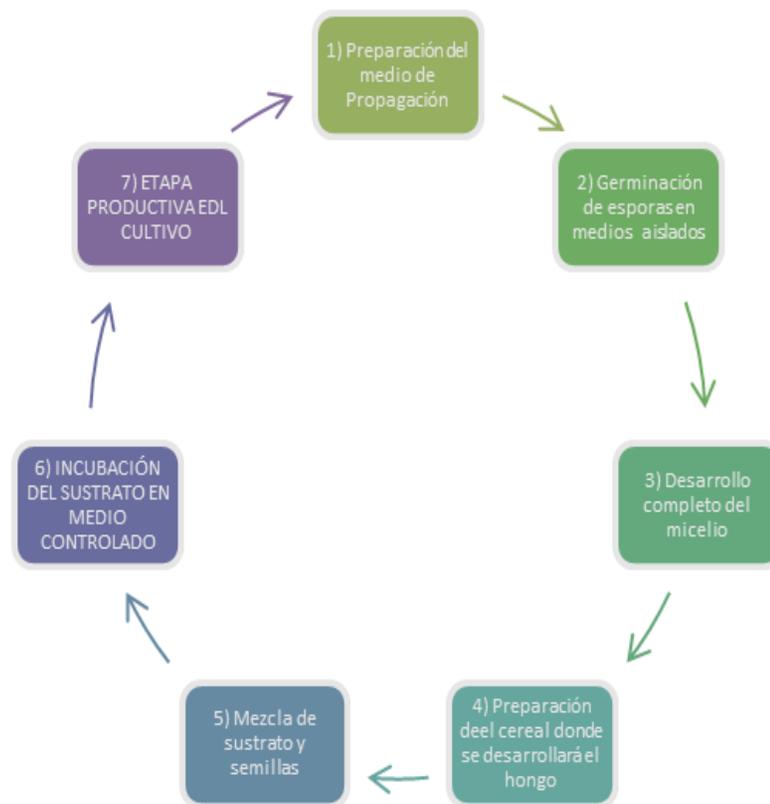


Figura 7. Ciclo de cultivo de la Orellana

➤ **INCUBACIÓN:**

Este proceso inicia una vez se llenan las bolsas, se debe destinar un cuarto para esto, donde deben asegurarse las condiciones ilustradas en la tabla 3.

Tabla 3

Temperatura °C	Humedad Relativa %	Duración aproximada (Semanas)
18-27	85-98	3

En cuanto a las bolsas, es importante recordar agujerarlas en forma de C para que por allí se asome el hongo, normalmente se hacen entre 4 y 8 de dichos cortes con un diámetro de 3-4 cm.

➤ **FLUSH**

El proceso conocido como “flush”, consiste en la transición del cultivo de su etapa vegetativa a la reproductiva (Inmediatamente después de la incubación), también se le conoce como barrido o choque térmico y básicamente presenta una disminución en los valores de las variables temperatura y humedad relativa de la manera que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4

Variable	Rango de valores antes del “Flush”	Rango de valores después del “Flush”
Temperatura °C	25-27	18-20
Humedad %	95-98	85-90

### ○ **ASPECTOS IMPORTANTES:**

- Para aumentar la humedad relativa del cuarto, se deben regar techos, paredes y pisos. O puede humedecerse el aire a recircular con el uso de nebulizadores.
- Una vez se da la aparición de las primeras setas, debe contabilizarse aproximadamente una semana para realizar la primera cosecha, (debe tenerse en cuenta un aproximado de entre 24-26 días desde la siembra hasta la primera cosecha).
- Las oleadas de recolección del hongo se siguen repitiendo varias veces (una por semana), es recomendable por calidad del producto final, realizar 4 recolecciones como máximo encontrándose la mayor cantidad de fructificaciones en las dos primeras semanas con un porcentaje cercano al 90% de la fructificación total.
- Los hongos que surjan pueden tener una coloración amarilla, gris, banca, marrón o rosada, cualquier coloración diferente a las mencionadas se considera atípica y debe cuestionarse la calidad del producto logrado.
- La Seta puede alcanzar un diámetro de 15 cm aproximadamente tras su pleno desarrollo.
- Al adquirir la semilla, esta debe tener un color blanco, de lo contrario se considera como contaminada y debe desecharse inmediatamente.
- Si se detectan manchas verdes, lo cual evidencian la contaminación de una muestra, ésta debe desecharse inmediatamente y enfocarse en vigilar las demás bolsas para descartar que se halla propagado la infección.
- Las entradas de aire son necesarias para reforzar el sistema de recirculación de aire que mantiene la temperatura y ayuda a propagar las esporas en el cuarto; Así mismo, es necesario disponer malla fina en cada una de estas ventilas para evitar al máximo la entrada de insectos al área de cultivo.

## 5.2. ANTECEDENTES

- **EL CULTIVO DE LA ORELLANA EN COLOMBIA: Cultivos tecnificados**

Cabe anotar en este punto que, debido a la relativamente reciente entrada de éste producto al país, también se ha generado un precavido proceder a la hora de comenzar a cultivarlo, tan es así que quienes lo hacen en el país, en su mayoría no tecnifican el proceso, siendo necesaria la intervención de personal durante sus fases, para realizar un control de calidad por chequeo constante que busca la obtención de un producto de alta calidad, pero también abarca los factores de riesgo y error humano, lo cual precisamente es lo que se busca eliminar con la automatización.

El SENA, como ya es costumbre, apoya el desarrollo y la innovación en el agro, lo cual incluye éste producto, brindando capacitaciones tanto virtuales como presenciales de la manera en la que debe cultivarse la Orellana en la medida de pequeño, mediano o gran productor.

Para hacernos a una idea de cómo se realiza el proceso en las grandes empresas de setas en Colombia de las cuales destacamos las mencionadas en la tabla 5 que se muestra a continuación, debemos entender que el grado de dificultad de producción del Hongo lo determina la escala a la cual se desee lograrlo, por ejemplo, en una gran empresa, se requiere por razones obvias una cierta infraestructura pero también unos ciertos equipos especializados para cumplir con los requerimientos de las variables a controlar durante cada una de sus fases como se ve a continuación:

- El proceso de esterilización mediante el uso de Autoclaves en donde básicamente se trata de un recipiente hermético en cuyo interior se puede trabajar con una alta presión y temperatura para eliminar en éste caso en particular agentes contaminantes para el hongo (proceso conocido como esterilización selectiva), para lograr que únicamente el hongo deseado pueda proliferar en el sustrato bajo esas condiciones.
- El uso de horno-túneles, en donde se manejan las condiciones de temperatura a medida que el sustrato va avanzando logrando así un mayor control y más homogéneo tratándose de cantidades considerables del mismo.

Tabla 5

Empresa	Departamento
<p>Orellanas la Unión</p> 	<p><b>NARIÑO</b></p>  <p>San Juan de Pasto</p>
<p>Setas de la montaña</p>  <p>Setas de la Montaña</p>	 <p>Ibagué</p> <p><b>TOLIMA</b></p>
<p>Setas de Cuivá</p> 	<p>Yopal</p>  <p><b>CASANARE</b></p>

Es destacable la producción de Hongos que a nivel nacional abarcan estas tres empresas lo cual las ubica como líderes en el mercado de Orellanas en el país, al punto de que *el grupo Nutresa está interesado en adquirir a "Setas de Cuivá"*<sup>10</sup>; En los tres casos hay una alta participación de personal activo en las diferentes fases del cultivo.

Se hace evidente también por qué éstas empresas logran una alta cantidad de producido al estar ubicadas en sitios donde el clima característico es altamente favorable, sobretodo en condiciones de humedad para el logro de hongos comestibles de alta calidad.

En definitiva, es la región andina la una zona que más favorece las necesidades que requiere el Hongo plano como se ve en la figura 8.

<sup>10</sup> Tomado de: Grupo Bancolombia. Grupo Nutresa. Investigaciones renta variable Colombia: reinicio de cobertura, Agosto 12 de 2013

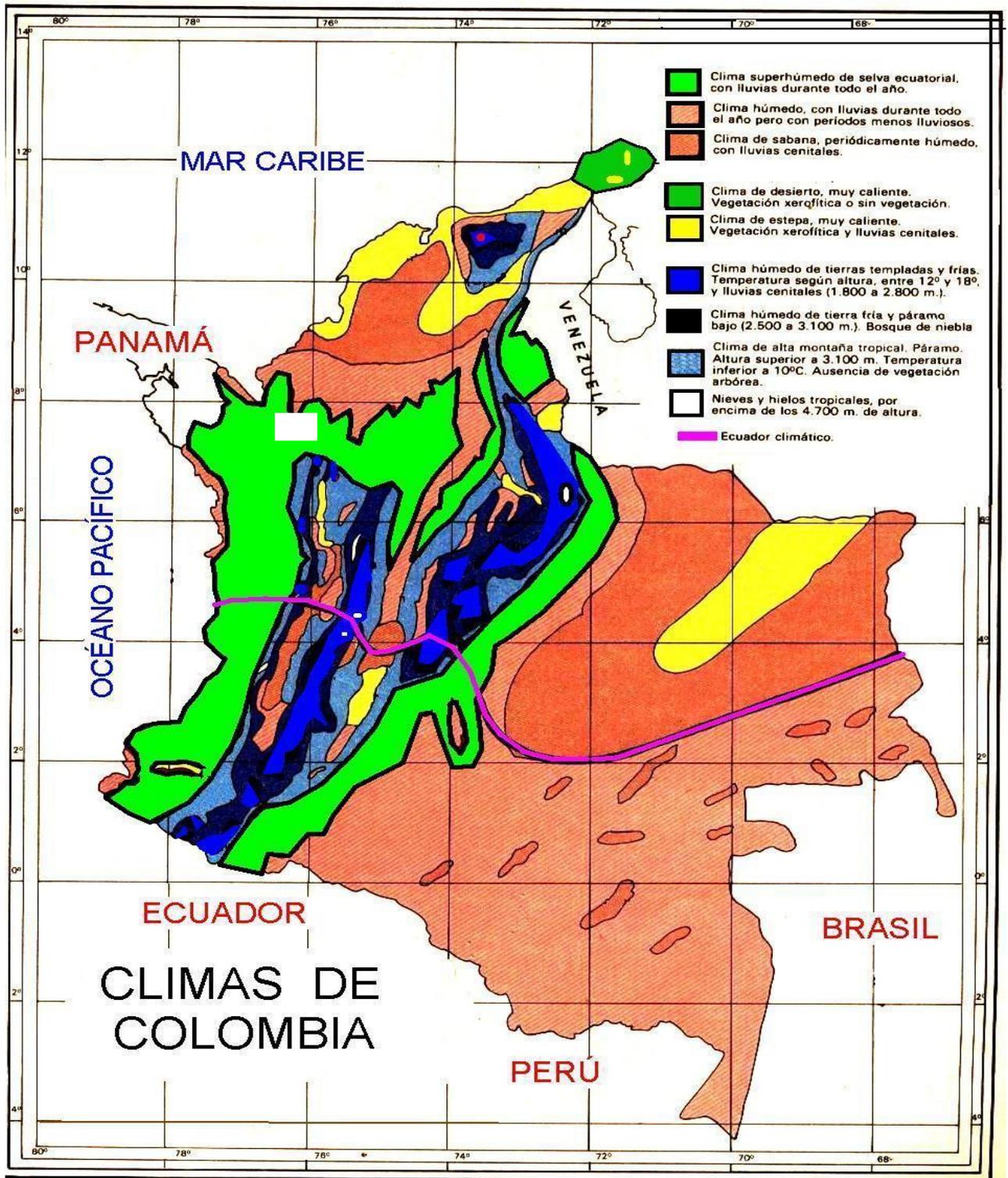


Figura 8. Zonas climáticas de Colombia <sup>11</sup>

<sup>11</sup>Tomado de: <http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/mapaclima.html>

- **DATO RELEVANTE:** Se tiene un estimado de producción de 250Kg de Orellana en un tiempo de 45 días para un área de  $3m^2$  por tonelada de sustrato utilizado.

- **SETAS DE CUIVÁ: Una empresa líder en Suramérica**

Si bien la empresa “Setas Colombianas” o setas de cuivá, es una empresa antioqueña dedicada a la producción de Champiñones, es de resaltar que al poseer una de las plantas de producción más grandes en Suramérica, debe considerarse como líder en cuanto a su posicionamiento y atractivo tecnológico, al ser un proceso a gran escala se tienen por ejemplo:

- Distribución del compost por tractores que los transportan para su riego por medio de maquinaria pesada.
- Pasteurización en hornos tipo túnel
- Incubación en grandes cámaras de crecimiento

La siguiente figura denota algunas de las exportaciones anuales de la empresa en FOB USD de varios productos entre los que se encuentran los hongos y trufas.

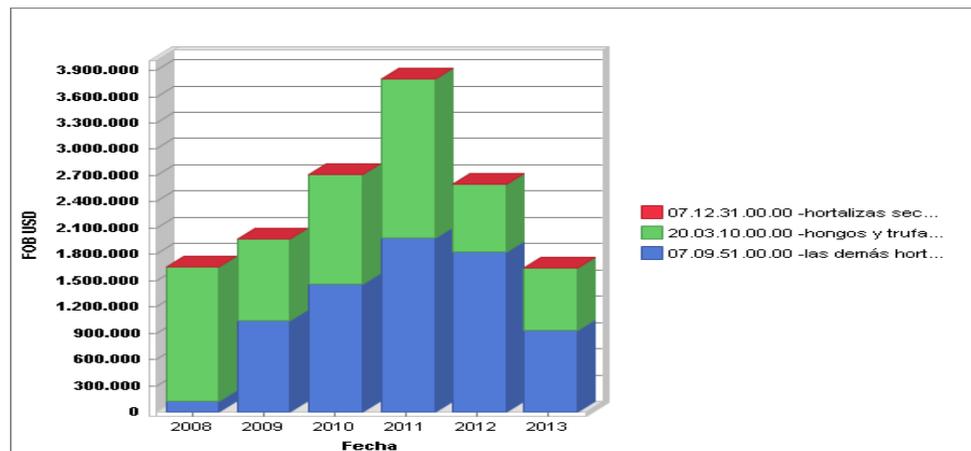


Figura 9. Exportación anual de varios productos de la empresa Setas de Colombia <sup>12</sup>

<sup>12</sup>Tomado de: <http://trade.nosis.com/es/SETAS-COLOMBIANAS-S-A-SETAS-S-A/Comex/000800151988/47/p/i/0#.UyeGDPIdx3Y>

### 5.3. MARCO HISTÓRICO

- **EL CULTIVO DE LA ORELLANA EN COLOMBIA: Llegada al país**

El cultivo de Hongos comestibles entre los que se identifican con mayor facilidad el Champiñón y el Shitake (Producidos en Europa y Asia respectivamente y que datan de aproximadamente unos 200 años), es una actividad que se comenzó a desarrollarse en el continente americano a finales del siglo 19 y principios de siglo 20. Antes de éstas fechas, más específicamente en 1950, en el país, se importaban directamente desde Francia y Alemania.

El hongo *Pleurotus*, en comparación del champiñón y del Shitake, necesita de procesos más cortos lo cual significa una manera más sencilla de consecución y a nivel de producción pequeña y media, no se necesitan condiciones de infraestructura ni maquinaria tan especializada sino que puede lograrse de manera enteramente artesanal y aun así obtener un buen resultado.

El cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* en Colombia se introdujo aproximadamente desde el año 1990 en Colombia, gracias al experto Fabio Pineda en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Antioquia, adquiriendo una particular relevancia gracias a su facilidad y relativa rapidez de producción y se ha ubicado con mayor fuerza en los departamentos de Cundinamarca, Huila, Antioquia y el eje cafetero, gracias a que su demanda ha venido expandiéndose de forma importante puesto que a nivel comercial *La importancia de los hongos comestibles y su utilidad para el hombre está representada en un gran número de formas de utilización, por ejemplo alimento, tónico o reconstituyente del organismo, medicamento y en el proceso de aprovechamiento de materiales orgánicos.*<sup>13</sup>

En cuanto a su aprovechamiento para el procesamiento de residuos orgánicos, se ha evidenciado un campo de acción efectiva y de gran potencial económico y de participación que es el sector cafetero; Si consideramos el hecho de que Colombia es el tercer país en la lista de productores de este grano a nivel mundial tan solo por debajo de Brasil y Vietnam respectivamente, se entiende entonces que el uso de la Orellana no se restringe tan solo a su consumo alimenticio sino que también a un uso más racional de aprovechamiento de residuos agroindustriales, además de su aplicación en el campo medicinal lo cual deja en evidencia que el hongo *pleurotus* pasa a ser de un producto con alto contenido proteínico cuyo único uso era considerado para el consumo humano, a uno con un gran potencial de generar ingresos importantes si se tiene en cuenta el amplio rango de acción al no

---

<sup>13</sup> Tomado de

<http://www.revistamemorias.com/edicionesAnteriores/7/sustratoOptimoProduccionHongoOrellana.pdf>

restringirse a un único mercado ni únicamente al ámbito nacional; Lo anterior ha sido percibido en las diversas regiones del país anteriormente mencionadas y de las cuales se destacan la zona cafetera y Cundinamarca básicamente que son los puntos en donde se concentra una mayor producción del Hongo en la actualidad.

La figura 10 presenta las zonas de producción cafetera del mundo con mayor influencia y la variedad del producto específico; Lo anterior para entender el potencial de exportación del producto para el fin del aprovechamiento del desecho agroindustrial producido por quienes cultivan café.

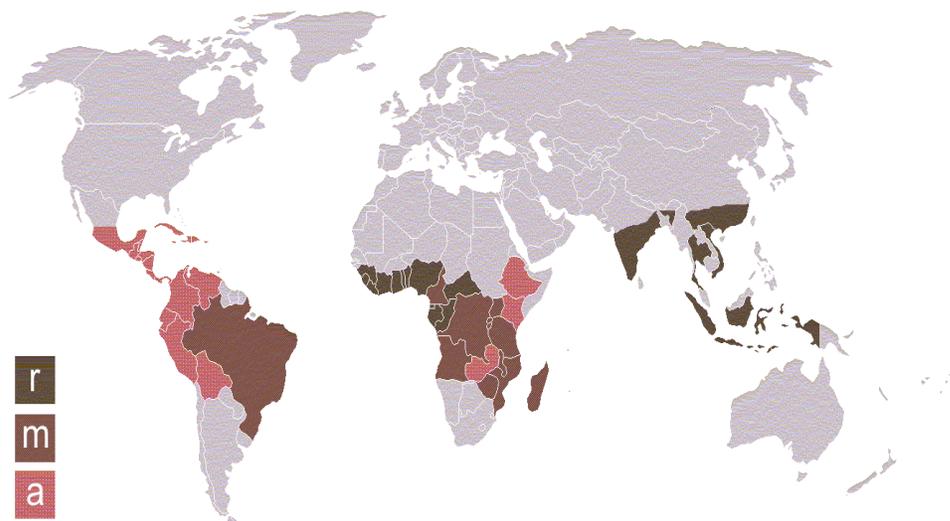


Figura 10. Principales zonas productoras de café en el mundo (r =variedad robusta, m= variedad arábica y robusta, a=variedad arábica) <sup>14</sup>

## 6. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROYECTO

El cultivo de la Orellana como ya se ha dicho, atraviesa por dos fases las cuales son de reproducción y de fructificación; Deben asegurarse unos valores de temperatura y humedad relativa propios de cada etapa, estos además se encuentran dentro de un rango admisible como se mostró en la tabla 4 lo cual permite pensar en un control difuso como el más apropiado.

A continuación se evidencia el rango de humedad relativa favorable para el crecimiento de hogos correspondiente a la tercera zona azul descendiendo por el costado derecho de la figura11.

<sup>14</sup>Tomado de: [http://www.bedri.es/Comer\\_y\\_beber/Cafe/El\\_cafe\\_en\\_el\\_mundo.htm](http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/El_cafe_en_el_mundo.htm)

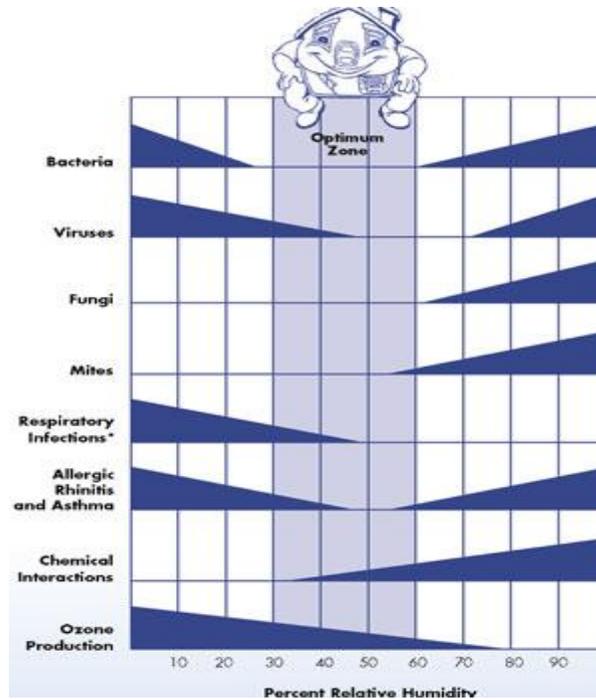


Figura 11. Rango de humedad relativa favorable para el crecimiento de los hongos en términos generales.<sup>15</sup>

En las tablas 6 y 7, se presentan los valores entre los que se permite, oscilen las variables temperatura y humedad además de la duración del cultivo en cada fase.

Tabla 6

Fase Reproductiva - Duración de 2 a 3 semanas		
Variable	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Rango	25 - 27	95 – 98

Tabla 7

Fase de Fructificación- Duración: 1 semana		
Variable	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Rango	18 – 20	85 – 90

<sup>15</sup>Tomado de: [http://www.h2otek.com.mx/tienda/product.php?id\\_product=802](http://www.h2otek.com.mx/tienda/product.php?id_product=802)

La intensidad lumínica influye determinadamente en la coloración final del hongo de la siguiente manera:

- **CONDICIONES DE LUZ:**
  - **FASE REPRODUCTIVA:** Luz indirecta
  - **FASE DE FRUCTIFICACIÓN:** Semipenumbra

Para cumplir con dichas condiciones, se cubrirán con plástico negro las dos ventanas que posee el cuarto y que constituyen las principales entradas de luz al mismo, logrando una tonalidad bastante blanca lo cual lleva a que el hongo pueda comercializarse en un valor más alto que si se le permitieran condiciones altas de iluminación durante la producción.

- **RECOLECCIÓN DEL PRODUCTO**

Se recomienda realizar un máximo de 4 oleadas de recolección para mantener la calidad adecuada del producto.

Cada oleada de cosecha puede tener intervalos de entre 1 y 2 semanas; Además cada cosecha puede durar de 2 a 3 días.

## **6.1. SENSORICA: Cuadros comparativos**

Gracias al vasto alcance de la tecnología, y a las necesidades actuales de automatización y control de procesos que incluyen variables físicas, podemos decir que para cada una de ellas existe o un sensor capaz de entregarnos una medición fiel de su comportamiento en el tiempo, medición que, según el nivel de exigencia, y por lo tanto de fiabilidad, será interpretada y analizada para la posterior toma de decisiones y en nuestro caso en específico, el control automático del sistema. El proyecto pretende manejar variables tales como temperatura y humedad relativa, en un cultivo de Orellanas en una finca, para lo cual se presentan a continuación una serie de cuadros comparativos que sirven de guía para el diseño de los componentes de la planta permitiendo la selección de los sensores, el controlador, y los actuadores del sistema.

Al final del presente documento se adjuntan los respectivos manuales de usuario entregados por los fabricantes y que corresponden a los sensores, controlador y actuadores seleccionados para la implementación de la planta.

## 6.1.1. SENSORES DE TEMPERATURA

Tabla 8

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA			SENSORES					
VARIABLE	FASE	RANGO ADMISIBLE (°C)	REFERENCIA	DS18S20	TMP 100	DS1722	LM61	LM 335
TEMPERATURA	REPRODUCTIVA	25 - 27 °C	RANGO DE MEDICIÓN (°C)	-55°C +125°C	-55°C +125°C	-55°C +120°C	-30°C +100°C	-55°C +150°C
	FRUCTIFICACIÓN	18 - 20 °C						
			TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	3.0 V - 5.5V	2.7V - 5.5V	2.65 V - 5.5V	2.7V - 10.0V	4.0 V - 30.0V
			HARDWARE ADICIONAL	No es necesario	No es necesario	No es necesario	Necesario	Necesario
			Nº PINES	3 (TO-92 PACKAGE)	6 (SOT 23 PACKAGE)	8 (SOIC PACKAGE)	3 (SOT 23 PACKAGE)	3 (TO 92 PACKAGE)
			RESOLUCIÓN	9-12 BITS	9-12 BITS	8-12 BITS	9-12 BITS	8-12 BITS
			FABRICANTE	MAXIM-DALLAS SEMICONDUCTOR	TEXAS INSTRUMENTS	MAXIM-DALLAS SEMICONDUCTOR	TEXAS INSTRUMENTS	NATIONAL SEMICONDUCTOR
			PRESICIÓN	+/- 0.5 °C DESDE -10 °C HASTA +85 °C	+/- 2.0 °C DESDE -25 °C HASTA +85 °C +/- 3.0 °C DESDE -55 °C HASTA +125 °C	+/- 2.0 °C	+/- 3.0 °C	+/- 0.5 °C
			COSTO (MONEDA NACIONAL)	\$ 5.800	\$ 4.698	\$ 5.800	\$ 2.697	\$ 2.639
			OTROS ASPECTOS IMPORTANTES	interfaz "1-wire" puede ser energizado por la línea de transmisión	interfaz "2 wire" hasta 8 dispositivos en un mismo bus	SPI "SERIAL PERIPHERAL INTERFACE" Utilizado en celulares	Utilizado en celulares como monitoreo de batería	Utilizado comunmente en diversas aplicaciones desde las más sencillas hasta controles más elaborados
								

## 6.1.2.      **SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA**

Tabla 9

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA			SENSORES			
VARIABLE	FASE	RANGO ADMISIBLE (%)	REFERENCIA	HS 1101	HIH-4000-002	DHT 11
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	REPRODUCTIVA	95 - 98 %	RANGO DE MEDICIÓN (°C)	0 - 100 %	0 - 100 %	20 - 100 %
	FRUCTIFICACIÓN	85 - 90 %		TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	5.0 V - 10.0V	4.0 V - 5.8V
			HARDWARE ADICIONAL	Necesario	Necesario	Necesario
			Nº PINES	2	3	4
			FABRICANTE	HUMIREL	HONEYWELL	D-ROBOTICS
			TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-40°C + 100°C	-40°C + 85°C	-----
			COSTO (MONEDA NACIONAL)	\$ 12.006	\$ 34.800	\$ 20.000
			OTROS ASPECTOS IMPORTANTES	calibración no requerida posible inmersión en agua 	Químicamente resistente utilizado en equipos médicos  sensible a la estática 	También mide temperatura INTERFÁZ "1 WIRE" 

### 6.1.3. CONTROLADORES

Tabla 10

Características	PIC18F4550	MC9S08JM60	ATMEGA328P
ARQUITECTURA DE HARDWARE (Von Neumann/Harvard)	Hardvard	Von neumann	hardvard
Arquitectura de repertorio de instrucciones (RISC/CISC/NISC)	RISC	CISC	RISC
BITS DE CONTROLADOR	8 bits	8 bits	8 bits
FABRICANTE			
Memoria Flash	32728 Bytes	60,912 Bytes	32 KB
Periféricos o módulos	tiene canales de comunicación serial MSSP, Y EUSART	posee dos módulos con interfaz serial para periféricos (SPI1- SPI2) de 16B (SPI16)	Interfaz serial (full duplex) USART con operación síncrona o asíncrona
Velocidad de reloj	frecuencia máxima de reloj de 40MHz	velocidad máxima de oscilador de 48MHz	soporta de 0 a 20 MHz incluso 32 M Hz
ASPECTO FÍSICO			

## **6.1.4. SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

### **6.1.4.1. SENSORES**

La selección del sensor de temperatura, una vez contrastados en la tabla, por rango de medición adecuado, buena precisión (solo comparable con la del Im 335), facilidad de utilización y bajo coste; Fue el sensor de temperatura DS18S20.

En cuanto al sensor de humedad relativa, el de referencia HIH-4000-002 del fabricante Honey Well es sensible a la estática y aunque esto solo signifique una adecuada y cuidadosa manipulación de dicho dispositivo, su costo se consideró elevado en la evaluación; El sensor HS1101 necesita de hardware adicional que genere pulsos para su correcto funcionamiento además de significar una inversión menor. En lo que respecta a las demás características son muy comparables con el sensor escogido finalmente por costo, prestaciones adecuadas y facilidad de montaje se determinó hacer uso del sensor DHT11.

Finalmente, y teniendo en cuenta el controlador a utilizar, cabe anotar que existen librerías para cada uno de los sensores escogidos disponibles desde la página oficial de ARDUINO y que se hará uso de ellas.

### **6.1.4.2. CONTROLADOR**

Se propone hacer uso de la tarjeta arduino uno r3 basada en el micro controlador ATMEGA 328P-PU, el cual es de 8 bits, tiene una memoria flash de 32 KB, existen librerías para trabajar su programación y comunicación serial desde MATLAB ya sea en un archivo .m o desde simulink lo cual lo hace conveniente para cumplir con los requerimientos del proyecto entre otras razones por la eliminación de hardware adicional necesario para la conexión entre el PC y el micro controlador como en el caso del PIC 18F4550 y esto lo hace a la vez muy interesante; Todo lo anterior sumado a la simplicidad de su lenguaje de programación, ocasionaron la elección de dicho controlador.

## 6.2. ESPECIFICACIONES SOBRE LA SENSÓRICA

Se hará uso entonces el sensor de temperatura **DS18S20** y el sensor de humedad relativa **DHT11**; El primero por su facilidad de uso, ya que puede ser polarizada desde la misma línea de transmisión donde además pueden disponerse varios de estos sensores, no necesita hardware adicional para su correcto funcionamiento más que una resistencia de pull-up, su alta precisión comparada con los demás sensores de la tabla, solo se compara con la del lm335 pero se optó por el DS18S20 por que cumple a cabalidad con los requerimientos del sistema.

En cuanto al sensor de humedad, se escogió el DHT11 ya que además de cumplir con el rango de medición, significa una baja inversión sin dejar de lado el cumplimiento de los requisitos necesarios para el proyecto.

### 6.2.1. SENSOR DE TEMPERATURA DS18S20

#### 6.2.1.1. ASPECTO FÍSICO

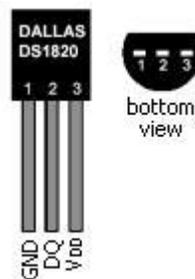


Figura 12. Aspecto físico y asignación de pines del sensor de temperatura DS18S20<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Tomado de <http://www.midondesign.com/Sensors/sensors.html>

### **6.2.1.2. CARACTERÍSTICAS TECNICAS**

El sensor de temperatura ds18s20 posee las siguientes características técnicas:

- Interfaz "1-Wire" esto es, 1 solo pin para la comunicación
- No requiere componentes externos para su correcto funcionamiento más que una resistencia de pull-up
- Puede ser energizado por la línea de transmisión
- Resolución de 9-12 Bits
- Rango de medición desde -55 hasta + 125 °C
- Convierte 12 bits correspondientes al dato de la temperatura a una palabra digital en 750 ms (máx)
- Varios de estos dispositivos de transmisión pueden disponerse en la misma línea de transmisión que además puede alcanzar una distancia de 100 mts sin problemas de transmisión

### **6.2.1.3. APLICACIONES**

- Puede funcionar como alarma
- Control termostático
- Sistemas industriales
- Básicamente cualquier sistema térmicamente sensible dentro del rango desde los - 55°C hasta los + 125°C

## 6.2.2. SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DHT11

### 6.2.2.1. ASPECTO FÍSICO

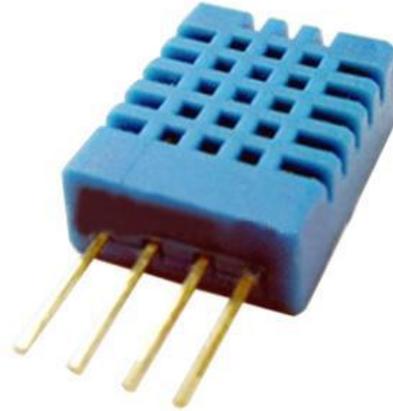


Figura 13. Aspecto físico del sensor de humedad relativa DHT11<sup>17</sup>

### 6.2.2.2. CARACTERÍSTICAS TECNICAS

- Componente de tipo resistivo para la medición de humedad
- Resolución = 1
- Rango de medición de 20 a 90 % de humedad relativa
- Tiempo de respuesta = 6 s
- Cuando se conecta a un cable de menos de 20 mts, se recomienda una resistencia de pull-up de 5K $\Omega$
- Interfaz de comunicación "Single-Wire-Two-Way"

---

<sup>17</sup> Tomado de: <http://www.robotshop.com/en/dfrobot-dht11-temperature-and-humidity-sensor.html>

### 6.2.2.3. APLICACIONES

- Automatización de ambientes
- Control automatizado del aire acondicionado
- Domótica
- Procesos de control industrial

## 6.3. ESPECIFICACIONES SOBRE EL CONTROLADOR

### 6.3.1.1. GENERALIDADES TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO “UNO R3”

*Es una plataforma open-source de computación física basada en una sencilla placa I / O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing / Wiring. Arduino puede ser usado para desarrollar objetos autónomos interactivos o puede ser conectado a un software en el computador como son Flash, Processing, MaxMSP. El IDE está en fuente abierta y se pueden descargar de forma gratuita (en la actualidad para Mac OS X, Windows y Linux).<sup>18</sup>*

*Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328. Cuenta con 14 entradas / salidas digitales pines (de las cuales 6 se puede utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA a CC o batería para empezar.*

*El “Uno” se diferencia de todas las juntas anteriores en que no utiliza el chip controlador “FTDI USB-to-serial”. En su lugar, ofrece la Atmega16U2 programado como un convertidor de USB a serie.*

*“Uno” significa uno en italiano y se nombra para conmemorar el próximo lanzamiento de Arduino 1.0. El Uno y la versión 1.0 será la versión de referencia de Arduino, moviéndose hacia adelante. El Uno es el último de una serie de placas Arduino USB y el modelo de referencia para la plataforma Arduino.<sup>19</sup>*

---

<sup>18</sup>tomado de <http://www.tiendaderobotica.com/tienda/Controladores/Arduino/ArduinoUno>

<sup>19</sup>Tomado de: <http://www.trastejant.es/proyectos/proyecto.php?id=2>

### 6.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- *Microcontrolador ATMEGA 328-PU*
- *Tensión de alimentación de 5V*
- *Tensión de entrada de 7 a 12 V*
- *14 pines de entrada/salida de los cuales 6 proporcionan salida PWM*
- *6 pines de entrada analógica*
- *Memoria flash de 32 KB*
- *SRAM de 2KB*
- *EEPROM de 1KB*
- *Velocidad de oscilador externo de 16MHz*

### 6.3.3. ASPECTO FÍSICO



Figura 14. Aspecto físico de la tarjeta ARDUINO UNO R3 basada en el microcontrolador ATMEGA 328PU<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Tomado de: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

La figura 15 evidencia el diagrama de bloques de la metodología del sistema propuesto.

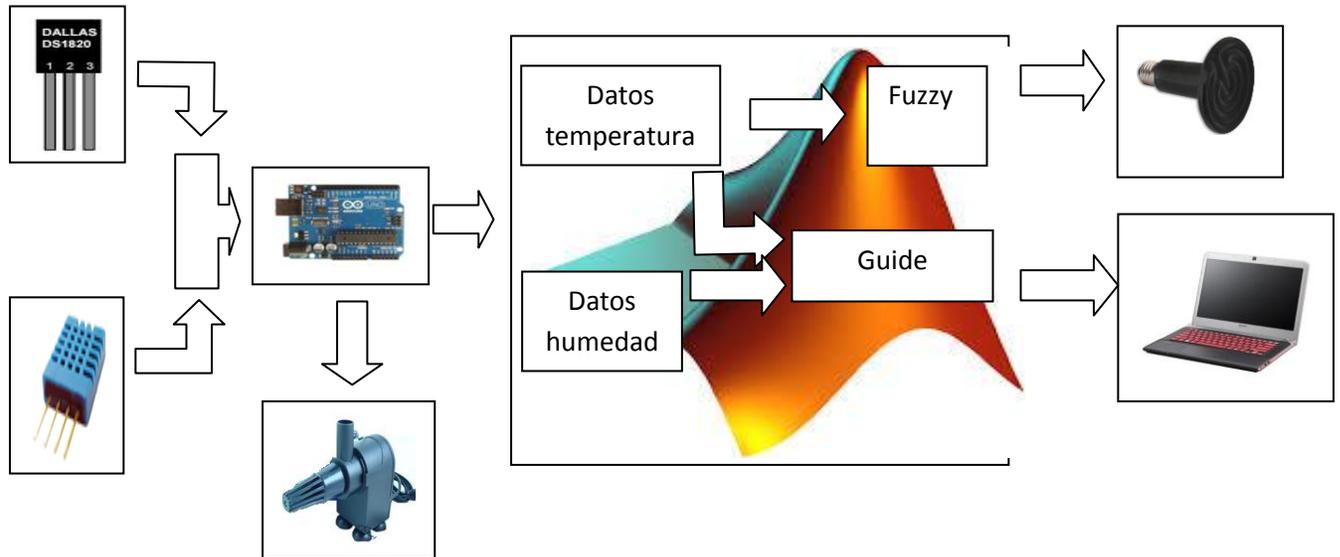


Figura 15. Explicación gráfica del sistema

## 7. DESARROLLO DEL PROYECTO

### TIBIRITA CUNDINAMARCA: Lugar dónde se implementará la planta

#### 7.1. MARCO GEOGRÁFICO: Generalidades del municipio Tibirita

Tibirita se encuentra ubicada al noroeste del municipio de Cundinamarca, limita con el departamento de Boyacá como se evidencia en la figura 16; Su clima predominante es frío con una temperatura media de 18 °C y sus 5.721,64 Has Km<sup>2</sup> se encuentran a unos 1980mts sobre el nivel del mar.

El comercio de los diferentes productos agropecuarios se realiza en el área urbana y quienes tienen la posibilidad de un nivel considerable de producido, comercian con las veredas aledañas.

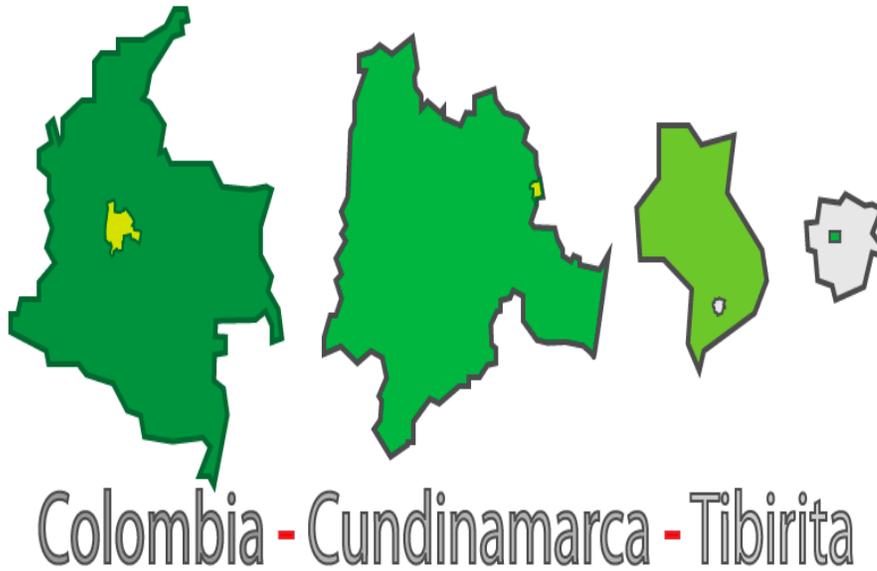


Figura 16. Ubicación geográfica de Tibirita<sup>21</sup>

## 7.2. COMERCIO DE ORELLANAS EN TIBIRITA

Se ha evidenciado que el cultivo de Orellanas no está presente en el municipio, lo cual es muy ventajoso ya que se trata de un producto que por sus características se comercializa fácilmente, entre otras razones porque no existe competencia; Sus ventajas frente a otro tipo de hongos conocidos ya como el Champiñón o el Shittake son claras a nivel nutricional como se evidencia en la figura 17 en donde se comparan el champiñón y los hongos seta de los que trata este proyecto.

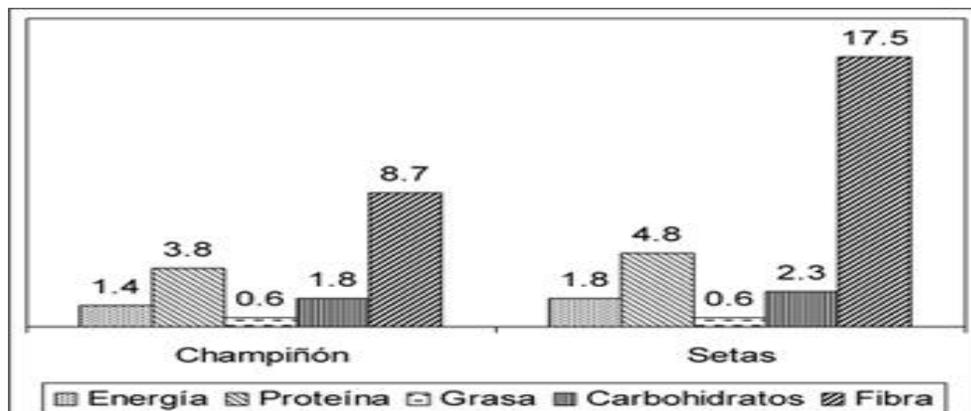


Figura17 Comparación Champiñón y Orellana<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Tomado <http://tibirita.co/informacion/su-ubicacion/>

### 7.3. ADECUACIÓN LOCATIVA

Es evidente que este tipo de cultivos necesitan entonces un espacio adecuado donde durante el proceso de incubación, se aseguren unas condiciones óptimas necesarias para el logro de un producto de la más alta calidad.

A continuación se presenta el modelo del cuarto de cultivo real

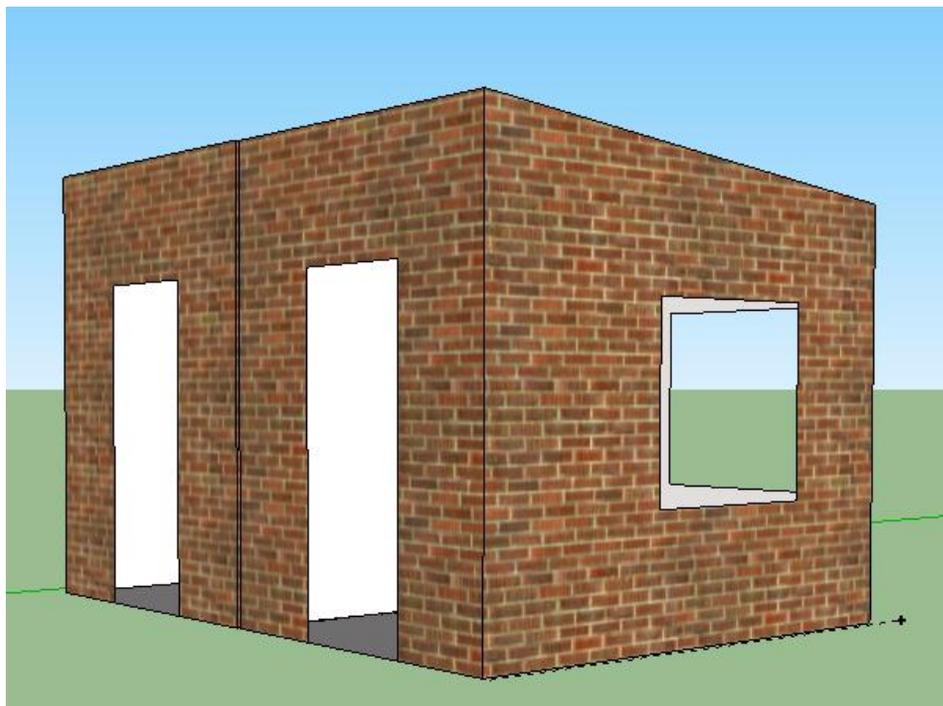


Figura 18. Modelo del cuarto de cultivo <sup>23</sup>

El espacio destinado a éste cultivo no es demasiado relevante si recordamos que su tiempo desde la incubación hasta la cosecha puede oscilar entre un mes y 45 días y que las bolsas donde se realiza la siembra pueden variar de tamaño así que en un lugar relativamente pequeño puede lograrse una cantidad considerable de producido y en poco tiempo.

Las dimensiones del cuarto de cultivo se relacionan en la siguiente tabla

---

<sup>22</sup> Tomado <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/234-la-importancia-nutricional-y-medicinal-de-los-hongos-cultivados>

<sup>23</sup> Imagen de autoría propia realizada en Sketch UP

Tabla 11

Parámetro	Parte más alta	Parte más baja	Frente	Fondo
Dimensiones (mts)	2,78	2,45	1,93	2,94

## 7.4. MEDICIONES EN SITIO

### 7.4.1. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Los siguientes resultados corresponden al comportamiento de la temperatura en la casa de la finca los días 06 y 07 de Febrero del año 2014, si bien no son mediciones del sitio específico donde se realizará el proceso de incubación y donde se implementará la planta, si nos da una idea de los valores extremos que se alcanzan sobre todo cuando la temperatura desciende durante la noche; De esta manera al analizar los resultados obtenidos de esta prueba, se podrán determinar cuántos grados con necesarios elevar durante cada fase y cuál es la manera más acertada según otros parámetros (como el consumo energético que cada opción signifique o la necesidad de personas que intervengan en el proceso) con la cual se logrará.

A continuación se presentan los resultados anteriormente mencionados:

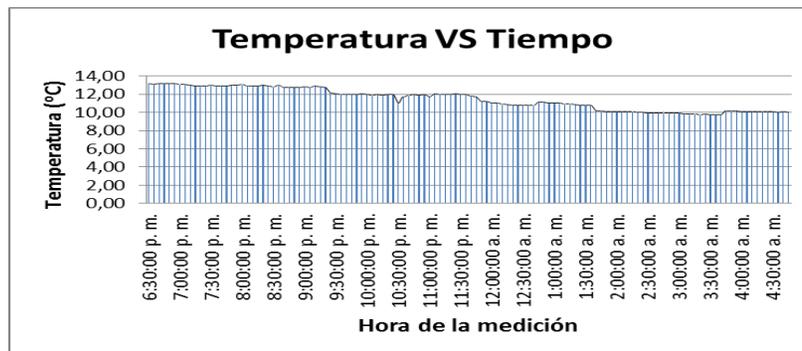


Figura 19. Comportamiento de la temperatura durante la tarde del 06 y la madrugada del 07 de Febrero de 2014 <sup>24</sup>

Para obtener los resultados anteriormente presentados, se hizo uso como primera medida de códigos libres para los sensores seleccionados (DS18B20 y DHT11), disponibles desde la página de ARDUINO.

<sup>24</sup> Imagen de autoría propia Obtenida de Excel

En la tabla 9 se muestran los datos tomados por el sensor DS18B20 llevados a Excel de manera manual ya que cabe anotar que desde la IDE de arduino no se pueden más que visualizar los valores recogidos más no procesarlos ni generar ningún tipo de grafico como se considera necesario sin la ayuda de algún otro programa; Gracias a esto, la prueba se realizó por medio de la captura de la pantalla del equipo donde se corrió constantemente el programa desde las 6:30 pm del día 06 de febrero hasta las 4:30 am del 07 de febrero. Desde el entorno de arduino se configuró la lectura de los datos de cada sensor cada dos segundos, en la figura 20 se evidencia el monitor serial de arduino y el promedio de datos a las 11:30 pm del 06 de febrero.

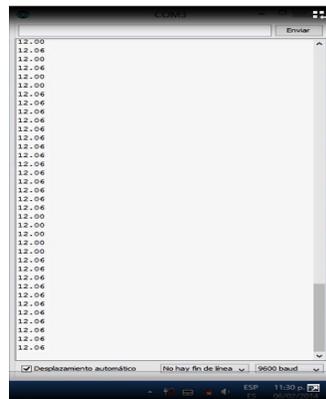


Figura 20. Captura de pantalla del monitor serial de arduino a la 11:30 del 06-02-14<sup>25</sup>

Luego de obtenido el video de la captura de pantalla, se procedió a promediar los valores cada 5 minutos en una tabla de Excel y generar el grafico de la figura 18 que se presentó anteriormente.

La siguiente es la tabla donde se recogieron los valores promedio cada 5 minutos, por lo extensa de la misma, se presenta únicamente una fracción de ésta con el rango de valores comprendidos entre las 6:30 pm y las 7:10 pm del 06-02-14

---

<sup>25</sup> Imagen de autoría propia Obtenida de Arduino IDE

Tabla 12

Hora	Temperatura
6:30:00 p. m.	13,19
6:35:00 p. m.	13,06
6:40:00 p. m.	13,19
6:45:00 p. m.	13,13
6:50:00 p. m.	13,19
6:55:00 p. m.	13,19
7:00:00 p. m.	13,06
7:05:00 p. m.	13,06
7:10:00 p. m.	13,00

### 7.4.2. MEDICIÓN DE HUMEDAD

Los datos que se presentan a continuación evidencian el comportamiento de la humedad relativa al interior del cuarto de cultivo sin estar completamente sellado.

Permiten hacerse a una idea de la variación negativa que puede llegar a darse y entender el rango máximo de aumento en que debería actuar en éste caso la bomba, lo cual permite que el diseño del controlador sea más adecuado.

Las mediciones fueron tomadas entre las 7:30 y las 9:30 pm del día 31-05-14 y se presentan en la figura 21.

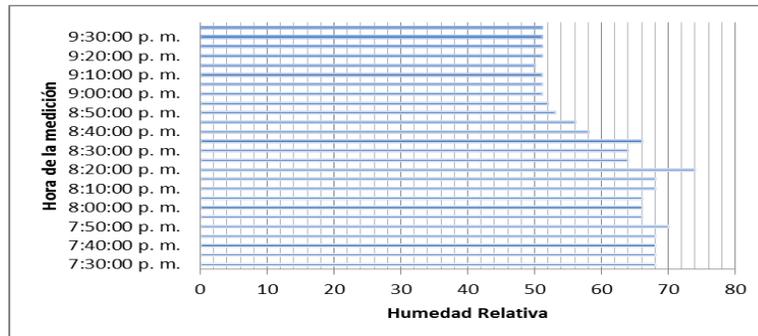


Figura 21. Comportamiento de la Humedad Relativa la noche del 30-05-14

A continuación se presenta la tabla de datos de donde se partió para graficar la figura 21

Tabla 13

<b>Hora</b>	<b>Humedad</b>
7:30:00 p. m.	68
7:35:00 p. m.	68
7:40:00 p. m.	68
7:45:00 p. m.	68
7:50:00 p. m.	70
7:55:00 p. m.	66
8:00:00 p. m.	66
8:05:00 p. m.	66
8:10:00 p. m.	68
8:15:00 p. m.	68
8:20:00 p. m.	74
8:25:00 p. m.	64
8:30:00 p. m.	64
8:35:00 p. m.	66
8:40:00 p. m.	58
8:45:00 p. m.	56
8:50:00 p. m.	53
8:55:00 p. m.	52
9:00:00 p. m.	51
9:05:00 p. m.	51
9:10:00 p. m.	51
9:15:00 p. m.	50
9:20:00 p. m.	51
9:25:00 p. m.	51
9:30:00 p. m.	51
9:35:00 p. m.	51

Cabe anotar que si bien se realizaron las mediciones para determinar los valores críticos de las variables, cuándo se pretende generar un modelo estadístico, deben tomarse un considerable número de muestras durante un tiempo suficiente para determinar verazmente el comportamiento real de dichas variables

## 7.5. METODOS DE CONTROL

Una vez analizados los valores considerados críticos de cada variable, se puede decidir entonces como se pretenden controlar para llevar a los niveles deseados.

Luego de la investigación correspondiente, se encontraron varias maneras de realizar el control sobre estas variables y se muestran a continuación.

### 7.5.1. METODOS DE CONTROL DE LA TEMPERATURA

Para llevar a cabo el aumento de la temperatura en cuartos, se encontraron, tras la investigación pertinente, varias maneras brevemente explicadas a continuación:

- **Suelo Radiante:** Se trata de, por medio de la instalación de tuberías debajo del suelo del ambiente a calentar, hacer circular agua a altas temperaturas, la transferencia de energía es quizá la mejor ya que como es bien sabido, el aire caliente tiende a subir y que manera más eficiente de distribución uniforme del calor en un cuarto que emitiéndolo desde la parte más baja del mismo.



Figura 22. Ejemplo de suelo radiante <sup>26</sup>

- **Quemadores de aceite:** No se considera la manera más eficiente al necesitar renovar la fuente combustible periódicamente.

Para el proyecto a desarrollar, se considera la manera menos conveniente para lograr el objetivo de elevar la temperatura en el cuarto de cultivo por necesitar la presencia

---

<sup>26</sup> Tomado de <http://aresol.com/newsletter/hotel-viura-biomasa-suelo-radiante-y-13-000e-de-ahorro-anuales/>

de una persona o la generación de un sistema capaz e reabastecer el aceite una vez se quemó por completo lo cual no es la finalidad del mismo.

- **Radiadores:** Básicamente existen dos tipos, los de vapor se alimentan del vapor generado después de calentar agua en una caldera ubicada generalmente en los sótanos de las edificaciones donde se utiliza; Los eléctricos



Figura 23. Ejemplo de suelo radiante <sup>27</sup>

- **Pasivamente:** Éste método de calefacción se genera una vez la radiación del sol ingresa al cuarto al atravesar las ventanas de vidrio del mismo y se mantiene atrapada en el mismo.

De ésta manera no se ejerce un control real razón por la cual no se tiene en cuenta en el proyecto, entre otras razones por que tampoco se desea intensidad lumínica en la fase reproductiva del hongo.

- **Lámparas de crecimiento:** Se trata de focos que emiten luz y calor a plantas individuales o en zonas específicas del cultivo, suelen usarse varios de estos distribuidos en todo el cuarto.

Existen distintos tipos de focos cada uno con su eficiencia lumínica característica lo cual se traduce en que cantidad de energía que consumen se ve reflejada en intensidad lumínica y que tanta en la generación de calor.



Figura 24. Ejemplo de lámpara de crecimiento<sup>28</sup>

- **Calentadores:** Pueden ser calventores los cuales consisten en una fuente de calor como aditamento de un ventilador el cual entonces distribuye el calor de manera uniforme.

El aislamiento tanto interno como externo del cuarto de cultivo es necesario y útil, suele realizarse como complemento de cualquiera sea el método o mezcla de métodos seleccionados y actúa retardando la variación negativa de las dos variables en este caso; Por esta razón se recomienda altamente aislar internamente el sitio en donde se llevara a cabo la producción del hongo.

### 7.5.2. METODOS DE CONTROL DE LA HUMEDAD

La humedad dentro de un cuarto de cultivo se encuentra directamente relacionada con la existente en el sustrato y depende también, pero de manera inversa, de la temperatura en el lugar de cultivo.

Los métodos clásicos para elevar la humedad en sitios de cultivo que no comprendan un gran área, (Como es el caso del proyecto), consisten en la evaporación de agua en un recipiente contenedor con una fuente de calor debajo de esta.

La otra manera detectada es por humidificadores eléctricos, que logran cumplir con su función, ya sea por la aplicación de ondas de alta frecuencia al agua (H. Ultrasónicos), o por la

---

<sup>28</sup> Tomado de <http://cheebadistribuciones.es/category/impuestos/iva-al-21?page=23>

atomización de agua al ser expulsada en forma de rocío, goteo o aspersión por boquillas adecuadas para esto.

Se pretende para este proyecto, mediante una bomba, impulsar el agua por un sistema de mangueras y boquillas de aspersión artesanales dispuestas en una parte alta con respecto a las bolsas.



Figura 25. Bomba OKUMA 2000 <sup>29</sup>

## **7.6. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS ACTUADORES**

### **7.6.1. EMISOR DE CALOR**

Luego de evidenciar las numerosas posibilidades para calentar el cuarto, y habiendo descartado como primera medida aquellos basados en la quema de aceite, se decidió entonces utilizar un emisor cerámico de calor el cual es altamente usado en terrarios donde además, las condiciones de temperatura a mantener, presentan una alta similitud con las necesidades específicas del proyecto.

Este actuador se consideró el óptimo para lograr lo que se desea ya que al no emitir luz, se mantienen las condiciones de temperatura en la noche donde la necesidad es máxima y sin preocuparse por alterar la coloración del hongo.

A continuación se evidencia su aspecto físico

---

<sup>29</sup> Tomado de <http://goods.ruten.com.tw/item/show?21305080794470>



Figura 26. Aspecto físico del emisor de calor <sup>30</sup>

### 7.6.1.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Tabla 14

Especificaciones	
Emisor cerámico de calor	socket tipo E27
Tensión de alimentación	110-120 V
Potencia	150 W
Material	Cerámica-Metal

Sus usos más comunes son como se mencionó anteriormente para mantener las condiciones óptimas de calor en los terrarios, además, su material de construcción lo hace altamente efectivo para ser usado en condiciones de alta humedad como en el caso particular de las Orellanas.

Otra característica interesante de los heat emitters es que se conectan a un socket tipo E27, el cual es el mismo utilizado para las bombillas comunes.

---

<sup>30</sup> Tomado de [http://www.ebay.com.au/itm/Reptile-Ceramic-Heat-Emitter-Heated-Heater-Heating-Lamp-Light-240V-New-/261411267971?pt=AU\\_Pet\\_Supplies&var&hash=item3cdd536583&\\_uhb=1](http://www.ebay.com.au/itm/Reptile-Ceramic-Heat-Emitter-Heated-Heater-Heating-Lamp-Light-240V-New-/261411267971?pt=AU_Pet_Supplies&var&hash=item3cdd536583&_uhb=1)

## CERAMIC HEATER PT2047 – 150W

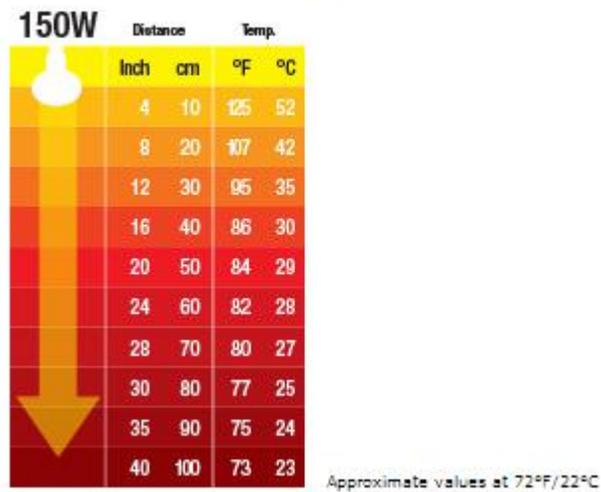


Figura 27 Aspecto físico del emisor de calor <sup>31</sup>

## 8. CONTROL DIFUSO

El control difuso se basa en una lógica que analiza varios valores admisibles y su grado de pertenencia a un conjunto previamente definido debido gracias al conocimiento precedente del sistema generado por un experto, también puede deberse al aprendizaje del comportamiento del sistema mediante algoritmos automáticos, o basados en las acciones de un operador que haya estado relacionado con la planta durante un periodo de tiempo considerablemente amplio; Todo lo anterior contribuyó a la decisión de implementar éste tipo de control, ya que como se ha mencionado en apartados anteriores, las variables de entrada del sistema se encuentran definidas entre rangos y no se especifica claramente un valor único en el cual deban encontrarse durante el proceso para que el resultado sea óptimo, esta situación permite también definir los conjuntos difusos y el grado de pertenencia para cada valor de las variables.

El control difuso se acerca al comportamiento humano en cuanto permite generar respuestas a situaciones, basados en el conocimiento de las mismas, lo cual ha impulsado de manera vertiginosa el desarrollo de la inteligencia artificial, es allí donde se evidencia que el campo más aplicable para este tipo de procesos es el control y son estas precisamente las razones fundamentales sobre las que se soporta la idea del presente desarrollo.

---

<sup>31</sup> Tomado de [http://www.exo-terra.com/en/products/ceramic\\_heater.php](http://www.exo-terra.com/en/products/ceramic_heater.php)

Sin embargo, cabe anotar que éste tipo de control ha tenido sus detractores desde su mismo surgimiento, quienes básicamente se basan en la falta de precisión que sobre un sistema se llegue a tener empleando éste tipo de métodos lo cual es relativo a la cantidad y la calidad de los conjuntos generados para describir las características del sistema, a la creación de sus reglas de inferencia, la complejidad del proceso que se tenga a manejar, entre otros diversos factores razón por la cual a continuación se presentan las generalidades del control difuso, sus métodos y formas enfatizando la escogencia de cada aspecto relativo al presente trabajo.

### **8.1.1. GENERALIDADES DEL CONTROL DIFUSO**

*Tomando como base la imprecisión del razonamiento humano, pero bajo un planteamiento matemático, la lógica difusa es capaz de generar la respuesta a una situación basándose en el conocimiento adquirido sobre ésta, que podrá ser inexacto e incompleto. Por ejemplo, mediante la lógica clásica se puede definir un conjunto de personas altas, pero esto obliga a establecer una frontera clara que separe este subconjunto del resto de elementos, como una altura de 1,80 m. Este razonamiento clásico dejaría a las personas de 1,79 m de estatura fuera del conjunto de personas altas. Es evidente que este razonamiento tan estricto de la lógica clásica choca frontalmente con el razonamiento humano, mucho más vago e impreciso.*

*La lógica difusa permite establecer límites suaves (o difusos) para los conjuntos, haciendo que no todo tenga que ser blanco o negro, sino que es posible la existencia de niveles de grises. Siguiendo con el ejemplo pero desde el punto de vista difuso, se podría decir que una persona que mida 1,90 m está claro que es alta, o la calidad de su pertenencia al conjunto de personas altas es 1. Una que mida 1,50 m está claro que no lo es, es decir, tiene un grado de pertenencia 0 a dicho conjunto. Con las alturas intermedias se podría decir que la calidad de su pertenencia al conjunto variaría entre 0 y 1, siendo mayor el grado de pertenencia cuanto más alta sea la persona a clasificar, por ejemplo 0,25 para las personas de 1,60 m y 0,75 para las de 1,80 m. Así, una persona de 1,79 m no estaría excluida del conjunto de personas altas, aunque la calidad de su pertenencia a dicho conjunto sería menor que la de otra persona de mayor estatura.<sup>32</sup>*

---

<sup>32</sup> Tomado de Salazar Hernández, Luis Alberto. (2012). "Diseño e implementación de un controlador difuso en un dspic30f4011 para una hélice de paso variable", Memoria de estadía profesional, México, universidad Politécnica de Pachuca.[PDF], 10-03-14. "disponible en internet:" <http://148.228.128.231/investigacion/tesis/tesis1.pdf>

La figura 28 presenta las características típicas de un sistema de inferencia difuso

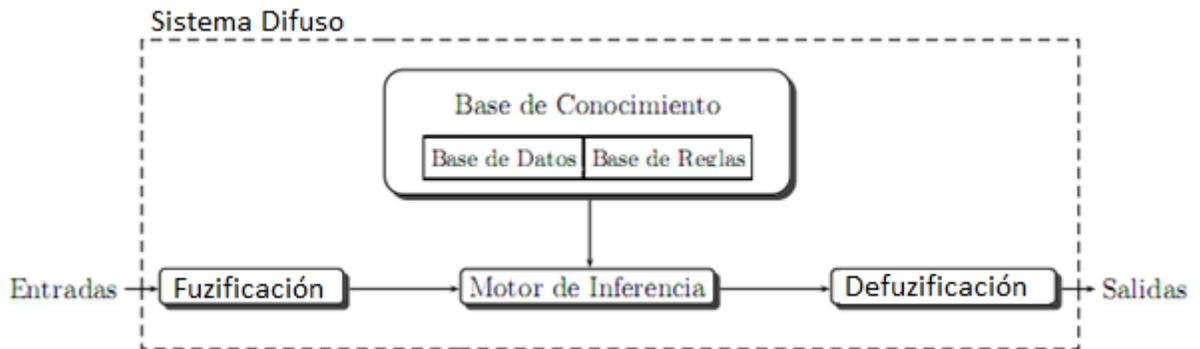


Figura 28. esquema general de un controlador difuso <sup>33</sup>

### 8.1.1.1. TIPOS DE SISTEMAS DIFUSOS

Existen 4 tipos de sistemas difusos de los cuales se relacionan 3 en la siguiente tabla al tratarse de los más representativos:

Tabla 15

Tipo de sistema	Características
<b>Puros</b>	Sus entradas y salidas son conjuntos difusos
	No hay transformación sobre entradas ni salidas
	Se componen por la base de conocimiento y el motor de inferencia
<b>Mamdani</b>	Son los más utilizados en control
	Compuesto por: motor de inferencia, base de conocimiento, interfaces de fuzificación y defuzificación
<b>Sugeno</b>	Utiliza un función de las variables de entrada, en lugar de reglas completamente lingüísticas para la toma de decisiones

<sup>33</sup> Tomado de: Salazar Hernández, Luis Alberto. (2012). "Diseño e implementación de un controlador difuso en un dspic30f4011 para una hélice de paso variable", Memoria de estadía profesional, México, universidad Politécnica de Pachuca.[PDF], 10-03-14. "disponible en internet:" <http://148.228.128.231/investigacion/tesis/tesis1.pdf>

## 8.1.2. DISEÑO DEL CONTROLADOR DIFUSO

### 8.1.2.1. CONTROLADOR DE LA FASE REPRODUCTIVA

Basados en el toolbox de MATLAB de Fuzzy, se generaron como primera medida los dos Sistemas de Inferencia Difusa (FIS por sus siglas en inglés), tipo Mamdani correspondientes a cada etapa del cultivo con los siguientes conjuntos de entrada y salida:

#### CONJUNTOS DE ENTRADA:

- \*Helada
- \*Muy frio
- \*Frio
- \*Optimo
- \*Caliente
- \*Muy caliente
- \*Calor extremo

#### CONJUNTOS DE SALIDA:

- \*Calentar Inmediatamente
- \*Calentar Pronto
- \*Enfriar
- \*Enfriar Pronto
- \*Enfriar Inmediatamente

A continuación se muestra el controlador de la etapa reproductiva del hongo:

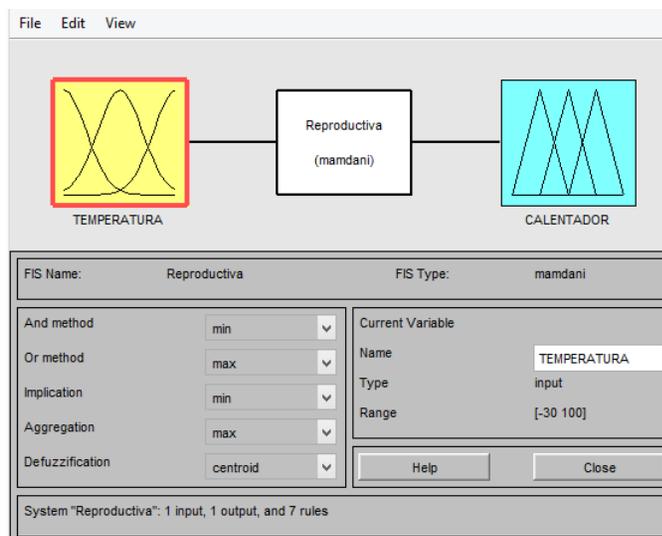


Figura 29. Sistema de Inferencia Difusa correspondiente a la etapa reproductiva del hongo

A continuación la simulación del sistema de la etapa reproductiva.

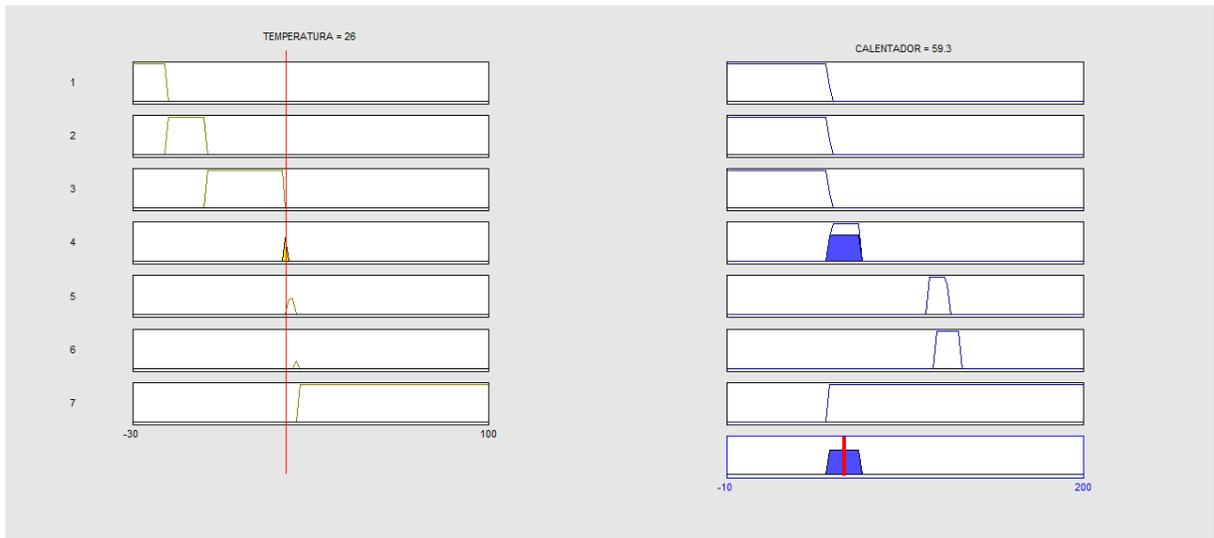


Figura 30. Simulación correspondiente a la etapa reproductiva del hongo desde matlab

La tabla 16 evidencia el comportamiento del controlador de la fase reproductiva

Tabla 16

Rango de valores de entrada(°C)	Conjuntos de entrada	Valor de dimerización	Conjuntos de Salida	Descripción
(-30) hasta 25	Helada-Muy Frio-Frio	20	Calentar inmediatamente	Máxima intensidad del bombillo
25.1 hasta 26.5	Optimo	60	Calentar Pronto	Menos intensidad
26.5 hasta 28	Caliente	115	Enfriar	Mucha menos intensidad
28 hasta 29	Muy caliente	120	Enfriar Pronto	Bombilla casi apagada
29 en adelante	Calor extremo	125	Enfriar Inmediatamente	Apenas se nota el filamento encendido

Los valores de la dimerización necesaria en la bombilla incandescente, se seleccionaron tras experimentar con el sensor de temperatura DS18B20 a distintas distancias del foco; finalmente, al implementar una maqueta que se muestra en la figura 31 y se detalla completamente en la sección “9. IMPLEMENTACIÓN” del presente documento.

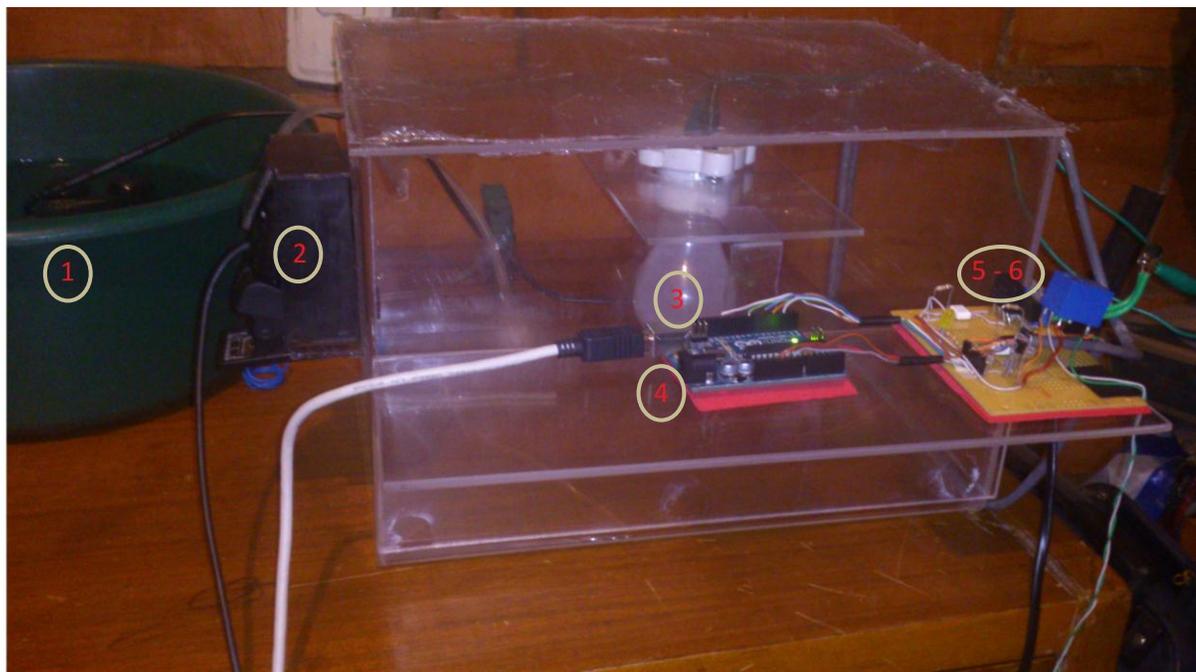


Figura 31. Maqueta empleada para evidenciar el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

1. Bomba de acuario utilizada para impulsar el agua al atomizador
2. Cámara utilizada para actualizar el cambio de un controlador difuso a otro
3. Bombilla a dimerizar para lograr las variaciones de temperatura deseadas
4. Arduino UNOR3
5. Etapa de potencia optoacoplada para lograr la detección de cruce por cero, la dimerización, y el accionamiento de la bomba por medio del relé.

### 8.1.2.2. CONTROLADOR DE LA FASE DE FRUCTIFICACIÓN

Como ya se mencionó, el controlador difuso correspondiente a esta etapa, responde a la necesidad de un choque térmico en donde las condiciones de temperatura y humedad con respecto al controlador de la fase de reproducción deben descender para el correcto desarrollo del hongo; Sin embargo, los valores de los conjuntos de salida se mantuvieron, variando únicamente los conjuntos de entrada en donde el conjunto “Temperatura óptima”, se encuentra comprendido por los valores del universo de discurso 18, 19 y 20°C y no por 25, 26 y 27°C como en el caso del controlador de la etapa reproductiva del hongo.

La siguiente tabla, demuestra el nuevo comportamiento de la temperatura.

Tabla 17

Rango de valores de entrada(°C)	Conjuntos de entrada	Valor de dimerización	Conjuntos de Salida	Descripción
(-30) hasta 18	Helada-Muy Frio-Frio	20	Calentar inmediatamente	Máxima intensidad del bombillo
18.1 hasta 19.5	Optimo	60	Calentar Pronto	Menos intensidad
19.5 hasta 21.5	Caliente	115	Enfriar	Mucha menos intensidad
21.5 hasta 23	Muy caliente	120	Enfriar Pronto	Bombilla casi apagada
23 en adelante	Calor extremo	125	Enfriar Inmediatamente	Apenas se nota el filamento encendido

La figura 32 muestra el conjunto “Temperatura Optima” y el valor asignado a la salida en ese momento.

Cabe anotar en éste punto, que los valores asignados e como lo muestran las figuras 30 y 32 como se ve en ellas es 59.3 y 59.6 respectivamente, se aclara que se aproximan al valor 60 en ambos casos ates de ser enviadas vía serial a arduino.

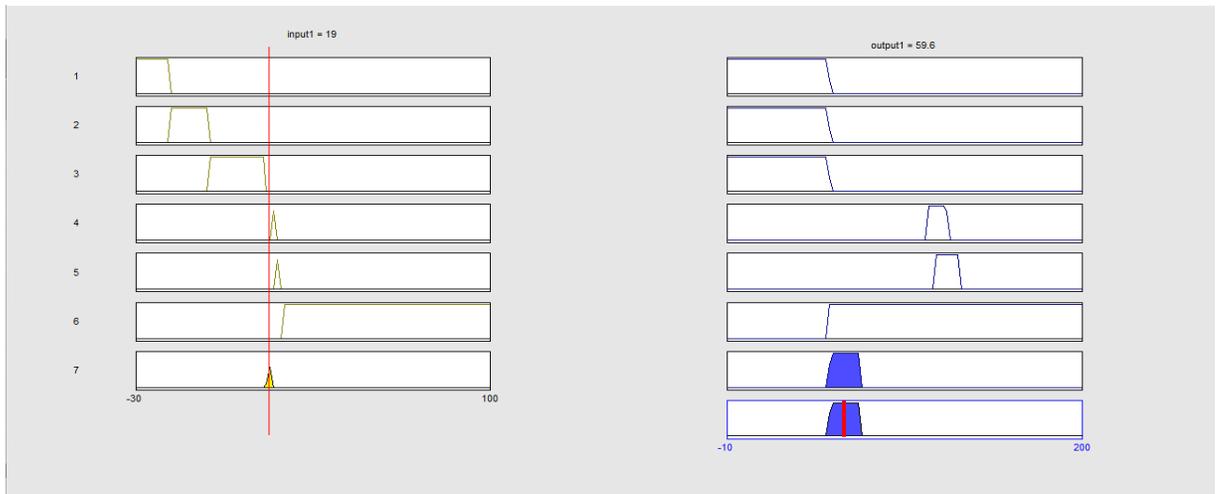


Figura 32. Salida del controlador de la etapa de fructificación cuando la temperatura es óptima

### 8.1.2.3. REGLAS DE INFERENCIA

A continuación se evidencian las reglas de inferencia utilizadas en los controladores, recordando que el comportamiento es el mismo, tan solo varían los valores de entrada específicos de cada conjunto.

1. If(TEMPERATURA is helada) then (CALENTADOR is calentar inmediatamente)
2. If(TEMPERATURA is muy frio) then (CALENTADOR is calentar inmediatamente)
3. If(TEMPERATURA is frio) then (CALENTADOR is calentar inmediatamente)
4. If(TEMPERATURA is optimo) then (CALENTADOR is calentar pronto)
5. If(TEMPERATURA is caliente) then (CALENTADOR is enfriar pronto)
6. If(TEMPERATURA is muy caliente) then (CALENTADOR is calentar inmediatamente)
7. If(TEMPERATURA is calor extremo) then (CALENTADOR is enfriar inmediatamente)

## 9. PROCESAMIENTO DE IMAGEN COMO ELEMENTO QUE AUTOMATICE LA ACUALIZACIÓN DE PARAMETROS DEL CONTROLADOR DIFUSO

Se utilizó la herramienta “imaqtool” para determinar los parámetros de la cámara que se utilizó tal y como se muestra en la figura 33.

```
vid = videoinput('winvideo',2, 'MJPG_160x120');  
  
vid.FramesPerTrigger = 1;  
src.BacklightCompensation = 'on';  
vid.FramesPerTrigger = 1;  
vid.ReturnedColorspace = 'RGB';  
triggerconfig(vid, 'manual');  
vidRes = get(vid, 'VideoResolution');  
imWidth = vidRes(1);  
imHeight = vidRes(2);  
nBands = get(vid, 'NumberOfBands');
```

Figura 33. Parámetros de la cámara utilizada

Para lograr el cambio de parámetros una vez se dé el choque térmico al interior del cuarto de cultivo, se pretende hacer uso de la capacidad de procesamiento de imagen y de los toolbox diseñados para éste fin que posee el paquete de instalación de MATLAB para dar mayores y mejores capacidades al desarrollo propuesto; Sin embargo, por el poco conocimiento y manejo que al momento del desarrollo se tenían sobre dichos temas, se empleó un algoritmo bastante básico con la capacidad de determinar de manera acertada el momento en que se deben actualizar los parámetros del controlador el cual se muestra en la figura 34.

Una vez hecho esto, se implementó el siguiente algoritmo el cual recorre la imagen pixel por pixel evaluando si es “suficientemente blanco” como para almacenarlo en un contador, si al final de la evaluación del último pixel de la imagen capturada, el contador de blancos es lo “suficientemente grande”, se actualizará el cambio de etapa del cultivo por medio de una bandera.

```

for x = 1 : filas
    for y = 1: columnas
        if (im_g (x,y))>200
            indicador_de_blanco = indicador_de_blanco + 1;
        end
    end
end
resultado = indicador_de_blanco;
if resultado >30
    bandera_cambio_de_etapa = 1 & 1;
else
    bandera_cambio_de_etapa = 1 & 0;%era 1 & 0
end

```

Figura 34. Algoritmo utilizado para el proceso de actualización del controlador

La resolución de la cámara utilizada fue de 160x120 por lo tanto las fotografías tomadas tendrían un total de 19200 pixeles.

A Continuación se presentan los histogramas correspondientes a la capturas de la simulación del cambio de etapa una vez se encendían los leds de la cámara,para este fin.

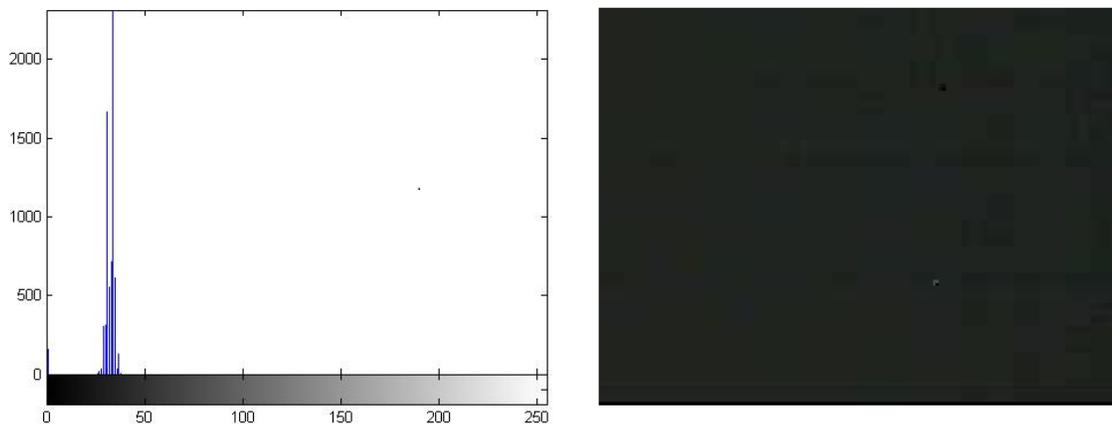


Figura 35. Histograma y fotografía correspondiente a la etapa reproductiva simulada

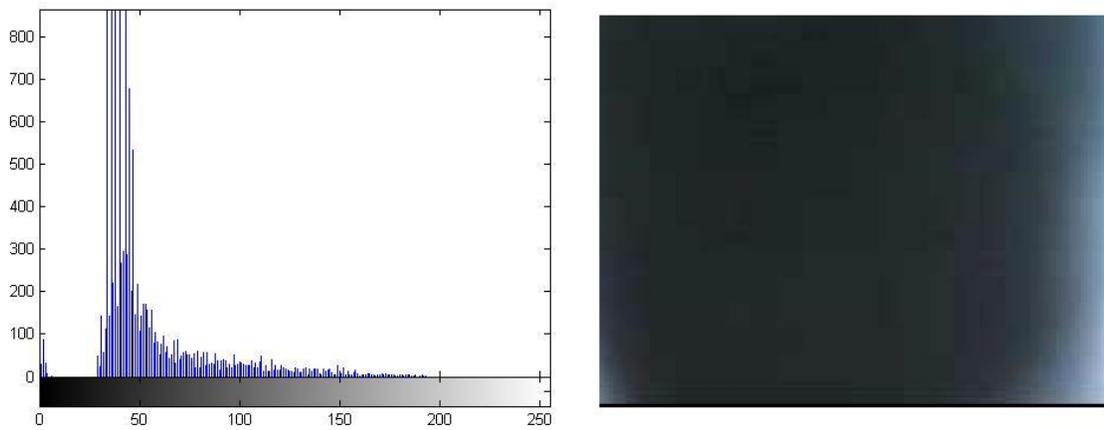


Figura 36. Histograma y fotografía correspondiente a la etapa de fructificación simulada

## 10. IMPLEMENTACIÓN

A continuación se presentan las imágenes de la implementación progresiva del sistema y las condiciones del sistema a la fecha 31-05-14:



Figura 37. Tarjeta de la etapa de potencia utilizada para el dimmer

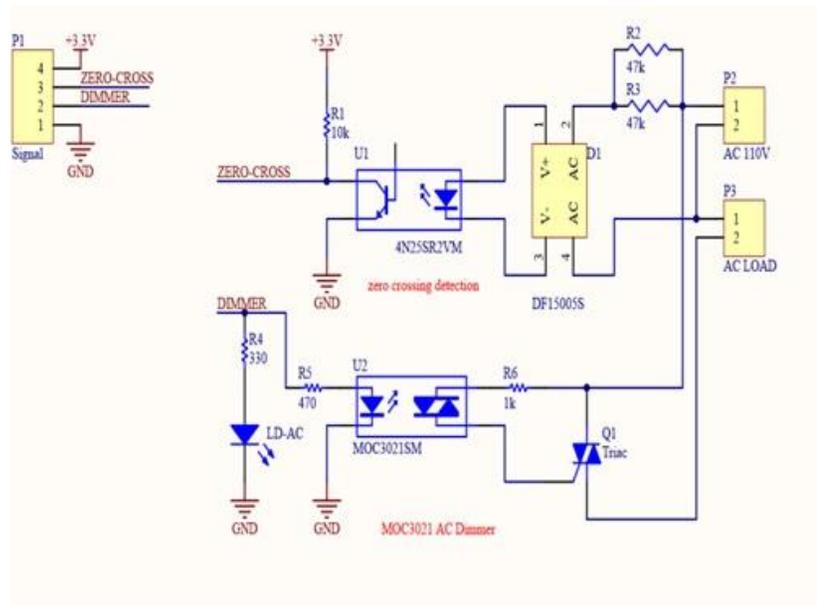


Figura 38. esquemático de la etapa de potencia utilizada<sup>34</sup>

A continuación, se presentan imágenes correspondientes al cuarto destinado para el cultivo del hongo:



Figura 39. Vista lateral de los cuartos de monitoreo, siembra e incubación (puertas 1 2y3 de izquierda a derecha respectivamente)

<sup>34</sup> Tomado de : <http://www.inmojo.com/store/inmojo-market/item/digital-ac-dimmer-module-lite-v.2/>



Figura 40. Vista lateral de los cuartos de siembra e incubación (puertas 1 y 2 de izquierda a derecha respectivamente)



Figura 41. Vigas donde se colgarán las bolsas de 12Kg



Figura 42. Vigas donde se colgarán las 8 bolsas de 12 Kg y se dispondrá la manguera de rocío



Figura 43. Parales que sostendrán las vigas donde se colgarán las bolsas

Como bien el cuarto no se logró adecuar al 100% durante el desarrollo del presente documento, se implementó una maqueta para representar a menor escala el funcionamiento que se desea; Las figuras que a continuación se presentan, evidencian el comportamiento propuesto en las tablas 16 y 17 de las secciones 8.1.2.1 y 8.1.2.2.

Como los valores de dimerización asignados se repiten en los dos controladores, se presentan las imágenes de dichos valores una sola vez sin especificar a que controlador pertenece la imagen presentada.

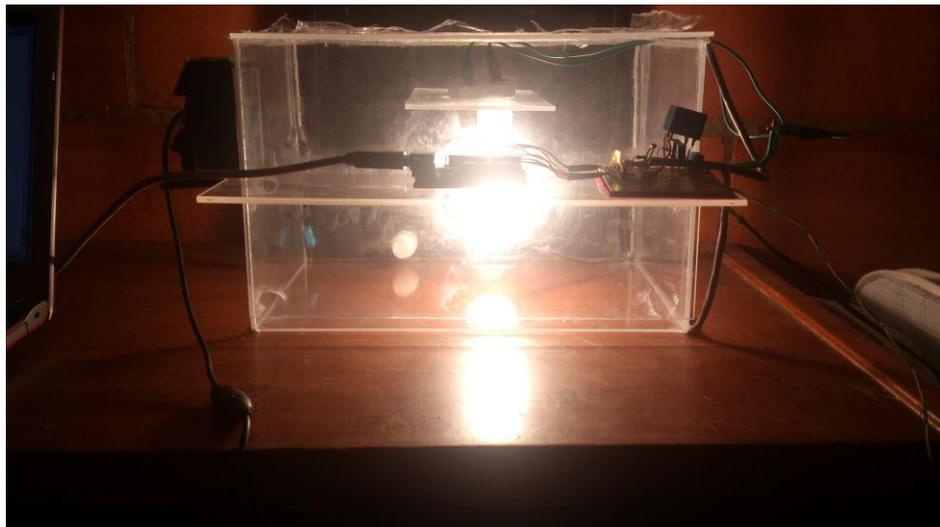


Figura 44. Valor de dimerización: 20

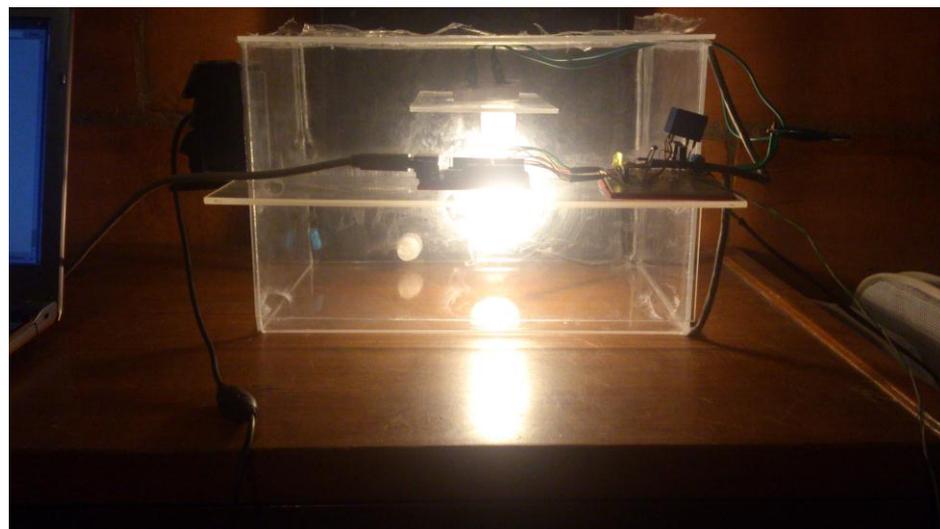


Figura 45. Valor de dimerización: 60

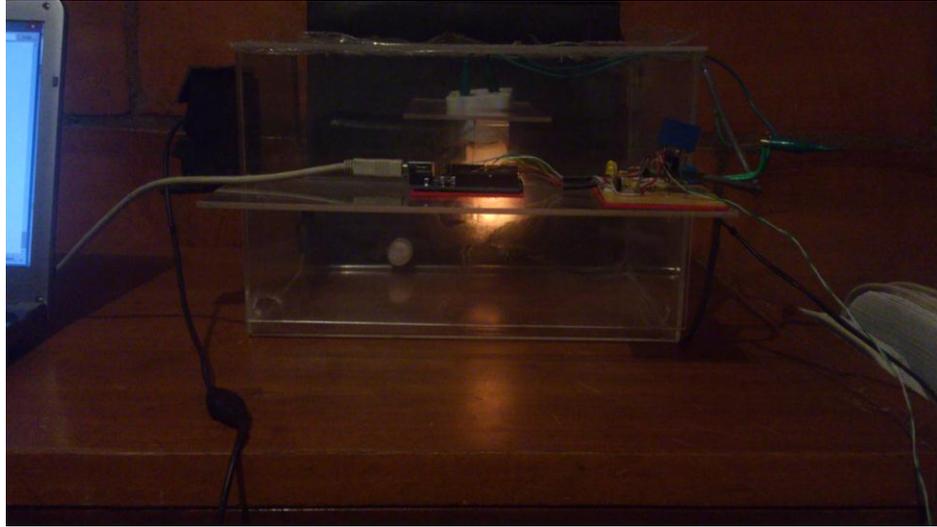


Figura 46. Valor de dimerización: 115

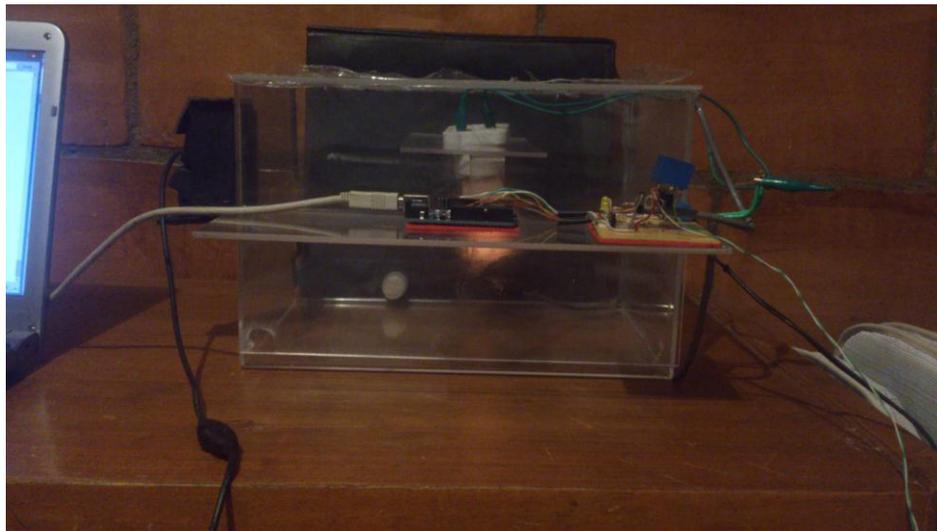


Figura 47. Valor de dimerización: 120

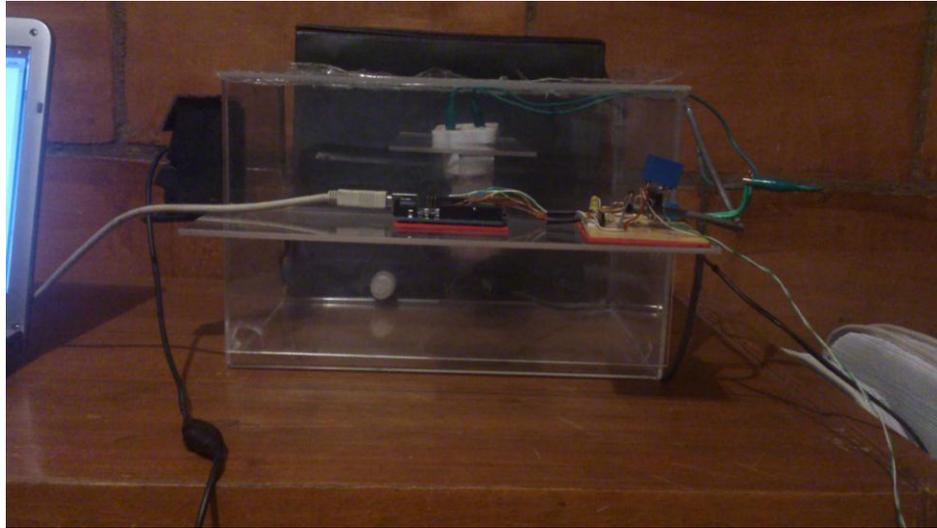


Figura 48. Valor de dimerización: 125

A continuación se evidencia el control deseado para las dos etapas:



Figura 49. GUI en etapa reproductiva



Figura 50. GUI en etapa de fructificación

## 11. CONCLUSIONES

- El uso de la tecnología de “OPEN SOFTWARE” y “OPEN HARDWARE” de Arduino, permite el logro de desarrollos y aplicaciones de un modo más práctico en cuanto al aprovechamiento del tiempo y recursos destinados para esto, evidenciado en la gran cantidad de soporte y documentación que se obtienen desde el mismo foro del fabricante.
- El uso del procesamiento de imagen en éste tipo de proyectos es adecuado si se tiene el conocimiento y manejo adecuados de las capacidades del mismo, para obtener los resultados deseados y no verse obligado a tener que realizar ajustes constantemente como en éste caso hubo que hacerlo para un correcto funcionamiento al tratarse de un código bastante básico el que se utilizó.
- Para un cuarto de cultivo de dimensiones similares a las aquí presentadas y si se decide emular el presente proyecto, se recomienda hacer uso de más de un “heat emitter” como actuador para lograr no solo una mejor distribución del calor generado por los mismos, sino un menor tiempo de respuesta de la planta en general; Lo anterior entendiendo la necesidad de realizar las modificaciones necesarias a la tarjeta de potencia adecuando un par opto diac-triac por cada actuador que se vaya a utilizar. Los cambios en el código utilizado se verán reflejados en la reproducción de las líneas en donde se declaren variables de pines conectados a las cargas AC y aquellas en donde se asigne el valor recibido desde MATLAB.
- La Orellana, como producto a comercializar, presenta un alto atractivo y potencial en varios sectores del mercado como alimenticio, como producto que aprovecha los desechos agro industriales, y como alimento altamente recomendado como complemento en diversos tratamientos médicos; Al tratarse Colombia del cuarto país mayor productor de café en el mundo, se evidencia a importancia que como aprovechamiento de dichos desechos tendría un producto como el aquí presentado.
- Utilizar un aislante térmico interno y externo en el cuarto de cultivo es altamente recomendado ya que blindo de cierta manera al sistema de perturbaciones que puedan llegar a suceder como un descenso dramático de la temperatura y que por más que el sistema está en la capacidad de contra restarlo, el uso de aislantes ayuda a mejorar el tiempo en que la planta se recuperaría de dichos fenómenos.
- Se debe tener presente que el presente proyecto es aplicable a una producción a pequeña o mediana escala ya que una gran cantidad de producido del Hongo, requiere otras condiciones como el uso de un túnel de recirculación del aire, entre otras características propias de una alta producción, además de ser menos tolerante a variaciones lo cual nos hace pensar en mantener las condiciones con un grado de control más estricto en todos los aspectos desde la siembra, pasando por la pasteurización selectiva y finalmente en la incubación.

- El sistema de adquisición de datos logrado es aplicable a diversos campos de aplicación y se constituye en una base para poder trabajar en numerosos proyectos de manera más fácil básicamente visualizando gráfica y numéricamente variables transmitidas vía serial involucrando arduino y matlab en una comunicación half dúplex que puede afinarse tanto como se desee, pero que sin embargo cumple con lo anteriormente mencionado en una interfaz gráfica de fácil entendimiento para el usuario final.

12. Los valores de dimerización utilizados y reflejados en la implementación de la maqueta presentada, responden al patrón de diseño singleton en donde básicamente un conjunto de valores del universo de discurso responde con el mismo grado de pertenencia lo cual puede entenderse y realizarse en la práctica con varios comparadores, por ésta razón se aclara que para fines prácticos de la sustentación del presente proyecto, se realizó el diseño de los controladores en esta manera y que para fines de una mejor y más acorde utilización del procesamiento al que está siendo sometido el microcontrolador utilizado, se recomienda realizar el diseño de los conjuntos basados en el conocimiento adecuado del sistema que como aspectos relevantes también debe incluir las dimensiones del lugar destinado a la implementación del mismo.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gaitán Hernandez, R, D. Salmones, R. Perez Merlo y G. Mata, 2006. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembre y producción, 1era. Ed., 2ª. Reimp. Instituto de Ecología, A.C.
- [2] Dr. Joel Velasco Velasco (Aspectos técnicos) y Lic. Eloisa Vargas Di Bella, Cultivo Del Hongo Seta (Pleurotus Ostreatus), p.24
- [3] Rodriguez J, N. Sanabria y G, Chacón, 2011. "Control De Temperratura Y Humedad Para Cultivo De Hongo Comestible Shiitake", Revista Visión Electrónica Año 6 No. 1 pp 104-114 Enero-Junio de 2012, Universidad Francisco José Caldas
- [4] Payanotis S. Tremante M, Mercedes Torres R y José Alonso S, "Conexión DDE entre Matlab Fix Dmacs (software ed supervisión, control y adquisición de datos -SCADA) para un controlador difuso", Escuela de Ingeniería Electrica , Universidad Central de Venezuela
- [5] ING. Ramón Valdez Martinez, 2007. Propuesde De Innovación Para La Producción De Tomate Rojo Para El Municipio De Zinapécuaro, Michoacán, pp 148.
- [6] L. Carrillo "Microbiología Agrícola", 2003, Capitulo 7
- [7] Grupo Bancolombia, "Investigaciones Renta Variable Colombia" [online] Disponible en: <http://investigaciones.bancolombia.com/InvEconomicas/sid/29964/2013081209581862.pdf>
- [8] Salazar Hernández, Luis Alberto. (2012). "Diseño e implementación de un controlador difuso en un dspic30f4011 para una hélice de paso variable", Memoria de estadía profesional, México, universidad Politécnica de Pachuca.[PDF], 10-03-14. "disponible en internet:" <http://148.228.128.231/investigacion/tesis/tesis1.pdf>
- [9] <http://wechoosethemoon.es/2011/07/15/arduino-matlab-adquisicion-de-datos/>
- [10] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/40294-reading-two-voltages-from-arduino>
- [11] <https://sites.google.com/a/uniboyaca.edu.co/ingjulianvelasco/adquisicion-de-datos/tutoriales-matlab-arduino>  
<https://sites.google.com/a/uniboyaca.edu.co/ingjulianvelasco/adquisicion-de-datos/tutoriales-matlab-arduino>

[12] <http://electronicwreck.blogspot.com/2012/01/sensor-de-temperatura-onewire-y-ds1820.html>

[13] <http://blogdelingeniero1.wordpress.com/2013/07/03/llamar-funciones-escritas-en-c-desde-matlab/>

[14] <http://tronview.blogspot.com/2014/01/graficar-datos-arduino-en-excel.html>

[15] [http://www.hugorodriguez.com/cursos/curso-idigital\\_02.htm](http://www.hugorodriguez.com/cursos/curso-idigital_02.htm)