

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD RELATIVA, Y CONTROL DE TEMPERATURA PARA FUTURO
ZOOCRIADERO DE LEPIDÓPTEROS, EN EL CENTRO DE BIOSISTEMAS DE LA
UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO**

DARLIN DAYANNE SÁNCHEZ DÍAZ



UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA BIOINGENIERÍA
BOGOTÁ D.C

2019

Título del trabajo de grado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, Y DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA FUTURO ZOOCRIADERO DE LEPIDÓPTEROS, EN EL CENTRO DE BIOSISTEMAS DE LA UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

Autores:

DARLIN DAYANNE SÁNCHEZ DÍAZ

CINDY ALEJANDRA GARZÓN ESPINOSA

Tutor

DIANA ASTRID FAJARDO SUA

Cotutor

Modalidad:
SERVICIO

Agradecimientos

En la culminación de esta etapa, es inherente dar mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que de una u otra manera aportaron y colaboraron en la elaboración de este documento.

Inicialmente agradezco a Dios, mi familia, la Universidad, Tutores, compañeros y al apoyo logístico de todos aquellos que permitieron culminar la tesis como resultado de estos años como estudiante universitario.

A Dios por guiarme en el camino y permitir que mis colaboradores aportaran con sus conocimientos y capacidades; a mi familia, empezando por mis padres, hermanos, abuelos, tíos quienes con su apoyo, amor, paciencia y entrega hicieron más llevadero y feliz este acontecimiento.

A la Universidad y mis tutores los cuales con su guía y formación directa o indirecta me acompañaron paso a paso en todo este proceso.

A los Ingenieros Luz Stella Fuentes, Carlos Bojaca y Reinaldo Garzón, por su guía y tiempo invertido en este proyecto.

Y por último a los trabajadores del Centro de Biosistemas quienes con su labor hicieron factible y más bello el Mariposario.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo construir un zoocriadero cerrado de lepidópteros en Chía, Cundinamarca, que permita el desarrollo de mariposas en un ambiente controlado en las instalaciones del Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Para tal fin se diseñó y construyó el mariposario con un área aproximada de 24,6 m², produciendo el material vegetal hospedero y nectarífero, el cual, determina el ciclo de vida de las mariposas; así mismo, se adecuó el espacio con elementos estéticos y funcionales como una fuente de agua, un sendero y comederos de frutas y bebederos de néctar armonizando el ambiente del recinto. Por último, se desarrolló un sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura, siendo estas, las variables físicas críticas para su mantenimiento en condiciones de la Sabana de Bogotá. Se encontró que la temperatura inicial del mariposario oscilaba entre los 4°C y 26°C. Al incorporar el sistema de control y realizar adecuaciones y ajustes estructurales al diseño inicial, se logró mantener las condiciones ambientales adecuadas para la supervivencia de las mariposas, al conservar el rango de temperatura entre 10°C-35°C, humedad entre 45,3%-100% y disponer diferentes plantas hospederas ligadas a varias especies de mariposas. Con base en los resultados, el zoocriadero permitirá la adaptación futura de las mariposas para el propósito del Centro, al incentivar el turismo agroecológico e incorporar el zoocriadero a los talleres y capacitaciones de biología aplicada, control biológico y agroecología que brinda el Laboratorio de Entomología.

Palabras Claves: Zoocriadero de lepidópteros, ambiente controlado, plantas hospederas, plantas nectaríferas, temperatura, humedad relativa.

Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	12
2.	Definición Del Problema.....	14
3.	Justificación.....	16
4.	Marco Referencial	17
4.1.	Zoocriaderos de lepidópteros.....	17
4.2.	Sistemas de control.....	22
4.2.1.	Clasificación de los Sistemas de Control.....	23
4.2.2.	Controlador de dos posiciones o de encendido-apagado (ON-OFF).....	23
4.3.	Marco legal.....	25
5.	Antecedentes	27
6.	Objetivos	30
6.1.	Objetivo General	30
6.2.	Objetivos Específicos.....	30
7.	Requerimientos	31
7.1.	Requerimientos Funcionales.....	31
7.2.	Requerimientos de Operación.....	31
7.3.	Requerimientos de Restricción	31
8.	Metodología.....	32
8.1.	Diseño e Implementación de la Estructura del Mariposario.	32
8.2.	Adecuación Interna del Mariposario	33
8.2.1.	Producción del material vegetal.....	33

8.2.2.	Ambientación y adecuación estética interna del mariposario.	35
8.3.	Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura.....	36
8.3.1.	Diseño Global.	36
8.3.2.	Diseño Detallado.	37
8.3.3.	Selección de Componentes.....	41
8.4.	Comparación de las señales del RH-iLog y las señales del sistema de monitoreo y control.....	45
9.	Implementación y Pruebas.....	47
10.	Resultados y Discusión.....	50
10.1.	Diseño e Implementación de la Estructura del Mariposario	50
10.2.	Adecuación Interna del Mariposario.....	54
10.2.1.	Producción del material vegetal.....	54
10.2.2.	Ambientación y adecuación estética interna del mariposario.	58
10.3.	Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura.....	60
10.4.	Comparación del sistema de monitoreo y control con el datalogger Escort RH-iLog	64
11.	Manual de usuario del zocriadero de lepidópteros	69
11.1.	Procedimientos para la producción y mantenimiento del material vegetal	70
11.1.1.	Producción de material vegetal en el vivero	71
11.1.2.	Mantenimiento del material vegetal en el mariposario.....	72

11.2. Protocolo general para el mantenimiento del mariposario	73
11.3. Procedimientos para la operación funcional del sistema de monitoreo y control	
74	
12. Conclusiones.....	80
13. Recomendaciones.....	81
14. Referencias	82
15. Anexos	86
Anexo 1. Mariposas y sus plantas hospederas.....	86
A. Especies de mariposas que utilizan la <i>Passiflora edulis</i> como hospedera	
86	
B. Especies de mariposas que utilizan la <i>Passiflora ligularis</i> como hospedera	
87	
C. Especies de mariposas que utilizan la <i>Musa paradisiaca</i> como hospedera	
88	
D. Especies de mariposas que utilizan la <i>Asclepias Curassavica</i> como	
hospedera 88	
88	
E. Especies de mariposas que utilizan la <i>Senna alata</i> como hospedera	88
F. Especies de mariposas que utilizan a <i>Tropaeolum majus</i> como hospedera	
89	
Anexo 2. Esquemático del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y	
control de temperatura	90
Anexo 3. Presupuesto.....	91

Anexo 4. Datos adquiridos por el sistema de monitoreo implementado y el RH-iLog.

94

A.	Datos de adquiridos de la humedad relativa.....	94
B.	Datos adquiridos de la temperatura ambiente	114

Tabla de figuras

Figura 1 Ciclo de Vida de Caligo sp.....	21
Figura 2 Ciclo de Vida Danaus plexippus.....	22
Figura 3 Representación en diagramas bloques de un sistema de control (Autor).....	22
Figura 4 Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto (Autor).....	23
Figura 5 Diagrama de bloques de un sistema realimentado (Autor).....	23
Figura 6 Controlador de dos posiciones (Fuente: Carrillo, 2011).....	24
Figura 7 Invernadero de Control Biológico (Laboratorio, 2017. Hecho por: Barrero, G).....	27
Figura 8 Espacios destinados para el desarrollo del zoocriadero de lepidópteros. A) Cuarto destinado para vivero del zoocriadero, B) Espacio destinado para el zoocriadero de lepidópteros, C) Cuarto de plantas limpias (Autor).....	28
Figura 9 Imagen satelital de la locación del Centro de Biosistemas. (Tomada de Google Maps, 2019).....	32
Figura 10. Vivero del zoocriadero de lepidópteros. A) Área de conservación de las plantas. B) Plantas situadas en el vivero. (Autor).....	33
Figura 11 Esquema del sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad relativa (Autor).....	36
Figura 12 Transductores (Autor).....	37
Figura 13 Unidad central de procesos (Autor).....	38
Figura 14 Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura (Autor).....	39
Figura 15 Diagrama de flujo, programación del CPU. (Autor).....	39
Figura 16 Actuadores del sistema (Autor).....	40
Figura 17 Registro y monitoreo (Autor).....	40
Figura 18 Calefactor T Kalley K-CA150T.....	44
Figura 19 Calentador de ambiente K-CA18.....	44
Figura 20 Sensor comercial- Escort RH-iLog (Tomado de: cryopak).....	46
Figura 21 Montaje del monitoreo los sensores Rh-iLog, DHT22 y BMP280. (Autor).....	46
Figura 22 Montaje del sistema de monitoreo y almacenamiento de los datos de temperatura, humedad relativa. (Autor).....	47
Figura 23 Visualización de los datos registrados en el TXT (Autor).....	48
Figura 24. Montaje del monitoreo y control de temperatura (Autor).....	49
Figura 25 Planos del mariposario. A) Vista superior, B) Vista frontal, C) Vista lateral, D) Render vista exterior. (Autor).....	50
Figura 26 Renders del mariposario. A) Vista frontal, B) Vista superior, C) Vista anterior, D) Vista lateral (Autor).....	51
Figura 27. Mariposario A) Vista interna del mariposario B) Vista Frontal C) Vista lateral D) Vista interior del sistema doble puerta (Autor).....	52
Figura 28 Sistema de doble puerta del mariposario. A. Vista exterior. B. Vista interior (Autor).....	52
Figura 29 Vista exterior del zoocriadero de lepidópteros A) sin Ventilación lateral natural, B) con Ventilación lateral natural. (Autor).....	53
Figura 30 Pantalla térmica A) Pantalla térmica abierta, B) Pantalla térmica cerrada. (Autor).....	54
Figura 31. Plantas de lulo. A) Crecimiento del material vegetal a los 3 meses, B) Crecimiento del material vegetal a los 5 meses. (Autor).....	55
Figura 32 Crecimiento de la planta de maracuyá. A. dos meses de trasplantada. B. seis meses de trasplantada. C. nueve meses de trasplantada (Autor).....	56
Figura 33. Planta de granadilla. A) Crecimiento a los tres meses de trasplantado al mariposario. B) Crecimiento a los ocho meses de trasplantado al mariposario (Autor).....	56
Figura 34 Planta de Plátano. A. tres meses de depositada en el mariposario. B. diez meses de situada en el mariposario (Autor).....	57
Figura 35. Adecuación estética del mariposario. A) Fuente de agua B) Base del sendero C) Mariposario terminado (Autor).....	59
Figura 36 Modulo de control.....	76
Figura 37 Pantalla LCD.....	76
Figura 38 Módulo Micro-SD.....	76
Figura 39 Sensor DHT22.....	77
Figura 40 Potenciómetro.....	77
Figura 41 SSR40DA.....	77

Tabla de gráficos

Grafico 1. Temperatura del mariposario al incorporar el calefactor.....	49
Grafico 2 Monitoreo de un día de la temperatura con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor).....	60
Grafico 3 Monitoreo de la temperatura durante cuatro días con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor)	61
Grafico 4 Monitoreo de la humedad relativa durante cuatro días con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor).....	62
Grafico 5 Relación entre el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa (Autor)	63
Grafico 6 Monitoreo de temperatura con los transductores seleccionados	65
Grafico 7 . Monitoreo de temperatura con los transductores seleccionados	65
Grafico 8 Grafico interactivo de las estimaciones y los intervalos de comparación entre los sensores. A) Temperatura. B) Humedad Relativa.	66
Grafico 9 Monitoreo de temperatura con SENSOR (RH-iLog) y DHT22	66
Grafico 10 Grafico interactivo de las estimaciones y los intervalos de comparación. A) Sensor DHT 22, B) del sensor comercial (Rh-iLog).....	68

Listado de tablas

Tabla 1 Ciclo de vida, Talla (mm) y Consumo foliar total (cm ²) por estadio de <i>Caligo sp.</i>	21
Tabla 2 Ciclo de vida, Talla (mm) y Consumo foliar total (cm ²) por estadio de <i>Danaus plexippus</i>	22
Tabla 3. Material Vegetal producido en el vivero	34
Tabla 4 Selección transductor de temperatura y humedad	41
Tabla 5. Características de microcontroladores.....	42
Tabla 6. Ponderación de las características de los microcontroladores.	42
Tabla 7 Características RH-iLog.....	45
Tabla 8 . Material Vegetal del zocriadero de lepidópteros.....	54
Tabla 9 Datos estadísticos descriptivos de los tres sensores analizados	64
Tabla 10 Datos estadísticos descriptivos del sensor implementado VS el sensor comercial	67
Tabla 11 Dispositivos electrónicos.....	74

1. Introducción

En el año 1992 en Río de Janeiro se celebró la Cumbre de la Tierra, la cual tuvo como objeto generar un compromiso global para la conservación de la diversidad biológica, utilización de los recursos de manera sostenible y garantizar la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos biológicos y genéticos. Este acuerdo conocido como Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) fue firmado por 150 países, entre ellos Colombia, quien ratificó el convenio con la Ley 165 de 1994 (Instituto Alexander Von Humboldt, 2018). Éste dicta la importancia de reconocer el valor que tiene la biodiversidad tanto por su existencia, como por los servicios y bienes que puede ofrecer.

Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, posee cerca del 10% de la diversidad biológica mundial, considerándose como un país megadiverso (MINAMBIENTE, 2015). Es importante resaltar la pérdida de esa biodiversidad por varios factores, como la disminución de hábitat por explotación indiscriminada de los recursos y el tráfico ilegal de especies exóticas; por ello es primordial reconocer la diversidad biológica, así como su valor e importancia ecosistémica, además de buscar estrategias para su conservación.

Así mismo, Colombia es el segundo país con mayor población de mariposas diurnas a nivel mundial (Ospina, 2014), sin embargo, el conocimiento que se tiene en el país sobre su fauna no se relaciona o compara con su extensa diversidad. Las mariposas dentro de la naturaleza actúan como bioindicadores, ya que su presencia en determinados hábitats indica ausencia de contaminación y buena conservación de la biodiversidad, dado que ellas son las primeras especies en desaparecer cuando el ecosistema tiene varias presiones que la deterioran (Figueroa, 2015). Por otra parte, las mariposas actúan como controladores de malezas y otros insectos herbívoros; además se desempeñan como polinizadores, al llevar polen a las flores, mientras se alimentan de ellas, contribuyendo así a la reproducción de las plantas (Tobar *et al.*, 2001).

Las mariposas juegan un papel importante en la cadena trófica dado que la mayoría de las especies son consumidores primarios, que transforman la energía de las plantas en energía de aprovechamiento para sus procesos vitales, así mismo en sus etapas de huevo, larva y adulto, son fuente de alimento para otros animales y parásitos, convirtiéndose así en presas de diferentes depredadores (Ortega & Rodríguez, 2016).

La ley 611 de 2000 en el artículo 30 define a los zoocriaderos como el área de propiedad pública o privada que se destina al mantenimiento, fomento y aprovechamiento de especies de la fauna silvestre y acuáticas en un área claramente determinada, con fines científicos, comerciales, industriales, de repoblación o de subsistencia. Los zoocriaderos de lepidópteros de tipo cerrado involucran la cría, el mantenimiento, el fomento para repoblación de especies y el aprovechamiento con fines comerciales o investigativos bajo una serie de manipulaciones humanas que permitan aumentar el número de individuos, sin causar impacto sobre las poblaciones naturales (Sánchez, 2004).

Actualmente el Laboratorio de Entomología del Centro de Biosistemas (CBIOS) tiene interés en incorporar dentro de sus instalaciones un zoocriadero de lepidópteros cerrado en el cual se puedan albergar mariposas para su investigación y fomentar el agroturismo. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue adecuar un espacio que permita albergar lepidópteros y material vegetal que estos requieren para su desarrollo; así como implementar un sistema de monitoreo de las variables físicas: temperatura y humedad relativa; y control de la temperatura, con el fin de simular el ambiente en el que habitan las mariposas y así brindar al Laboratorio un espacio para desarrollar sus actividades e incluirlo dentro de sus servicios.

2. Definición Del Problema

El Centro de Biosistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano realiza procesos de investigación y proyección social en áreas relacionadas con las Ciencias Naturales e Ingeniería. El Laboratorio de Entomología cuenta con un invernadero destinado a actividades académicas incluyendo allí una huerta agroecológica y un apiario, adicionalmente cuenta con cuartos vacíos con potencial uso para otras actividades. Así, surge la idea por parte del CBIOS de utilizar uno de estos cuartos para la creación de un mariposario. Esta idea no se había materializado debido a factores financieros para su sostenimiento, y a procesos que garantizaran la cría y reproducción de las mariposas. El Laboratorio tiene como prioridad la conservación de especies de artrópodos, ser fuente de investigación y concientización brindando una opción de turismo educativo para el público. Por medio del mariposario se pretende que el laboratorio cumpla con dicho objetivo implementado con éste, capacitaciones y talleres de biología aplicada, control biológico y agroecología.

En la Sabana de Bogotá se han realizado proyectos para la exhibición de mariposas, entre ellos cabe resaltar tres que estuvieron abiertos al público, pero debido a dificultades en el mantenimiento de las condiciones ambientales, el establecimiento de crías y otros manejos, en la actualidad no se encuentran en funcionamiento. 1. El mariposario de la Granja La Cascada ubicado en Albán, Cundinamarca. 2. El mariposario del Jardín Botánico Jorge Celestino Mutis, entidad que realizó exposiciones de los ejemplares durante pocos meses. 3. El Bioparque la Reserva cuenta con exhibiciones en las que simula diferentes ecosistemas, uno de ellos es el bosque seco tropical donde se podían encontrar 18 especies de mariposas propias de ese ecosistema, sin embargo, como es una fundación que rescata animales del tráfico ilegal, albergaron a un tucán que desplazo a las mariposas de la exhibición. Estos mariposarios evidencian la dificultad de establecer un zoocriadero de lepidópteros en la Sabana de Bogotá, principalmente por las condiciones ambientales que requieren las mariposas para su desarrollo.

Según la información recopilada por la estación climatológica del CBIOS, la temperatura y humedad relativa en el Centro de Biosistemas se encuentra entre los 2,9°C y 25,5°C de temperatura del aire, siendo estos valores su temperatura mínima y máxima, respectivamente. El porcentaje de humedad relativa del aire se encuentra entre 23% y 96%. El promedio trimestral de la temperatura del aire es de 14,2°C y el porcentaje de la humedad relativa es de 76,9 %. Las mariposas (*Caligo* sp, *Danaus plexippus*) con las que el Laboratorio pretende trabajar habitan en zonas con diferentes condiciones ambientales a las de la Sabana de Bogotá, estas se desarrollan en un rango entre 10°C-30°C y entre 50% y 95% de humedad relativa (Acosta & Blanco, 2009). Estos datos evidencian la necesidad de implementar un sistema que proporcione la temperatura y humedad idónea para la supervivencia de los lepidópteros en zoocriaderos en la sabana de Bogotá.

Así, el zoocriadero del CBIOS debe contar con un ambiente adecuado para la supervivencia, reproducción y desarrollo de los lepidópteros, el cual simule el ecosistema

del cual provienen. Para ello es necesario contar con las condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa adecuadas, al ser estas variables, los factores de mayor relevancia para el establecimiento de las crías. En este sentido, es imprescindible establecer el material vegetal dentro del mariposario como fuente de alimento y hospedaje; la densidad vegetal puede condicionar microclimas dentro del recinto, estos son esenciales para la supervivencia y desarrollo de las mariposas afectando directamente el crecimiento larval, o afectando indirectamente la disponibilidad de comida (Checa *et al.*, 2014).

De acuerdo con esto, el mayor problema para el establecimiento de la cría de lepidópteros en la sabana de Bogotá es mantener las condiciones ambientales propicias para el desarrollo y supervivencia de las mariposas, ya que el ambiente del que provienen las especies con las que el laboratorio tiene proyectado trabajar son diferentes a las que se encuentran en Chía, Cundinamarca.

3. Justificación

La importancia de los zoocriaderos radica en la contribución de estos a la propagación, preservación y cuidado de especies silvestres al mantener un número de individuos reproductores en cautiverio que potencialmente, a través de sus crías, garantice un tamaño viable de la población en condiciones de libertad. Cabe aclarar que la legislación colombiana establece que los zoocriaderos comerciales deben devolver cada año el 10% de lo capturado durante 10 años para completar así el 100% de lo extraído al medio (Rico, 2016). Así mismo, estos espacios funcionan como centros de educación ambiental, espacios que facilitan estudios de investigación y al mismo tiempo incentivan el turismo agroecológico.

Un ejemplo en el incremento de la población de mariposas mediante la zoocría se evidencia con la empresa Alas de Colombia quienes afirman que *“En vida libre menos del 5% de las mariposas llega al estado adulto por el ataque de depredadores naturales. Con la zoocría que implementamos el 80% lo logra, ya que se proporciona alimento y protección”* (Rico, 2016). Por esta razón, es importante la creación de zoocriadero que aporten a la conservación de la diversidad de las mariposas.

Actualmente el Centro de Biosistemas busca establecer un zoocriadero para la exposición de lepidópteros, con ejemplares que se encuentran en la cordillera central de Colombia. Las especies de mariposas que son de interés para el Laboratorio, habitan en zonas con diferentes condiciones ambientales a las de la Sabana de Bogotá. Por tal motivo se hace necesario adaptar la estructura del zoocriadero, introducir el material vegetal y diseñar los sistemas de monitoreo y control que permitan facilitar los requerimientos para la supervivencia, reproducción y desarrollo de las mariposas en el mismo. Además de permitir al CBIOS llevar a cabo sus investigaciones, incentivar el turismo agroecológico e incorporar el zoocriadero a los talleres y capacitaciones de biología aplicada, control biológico y agroecología que brinda el Laboratorio de Entomología.

Para el desarrollo de este proyecto es indispensable utilizar monitoreo y control de la temperatura y humedad relativa para brindar el ambiente apropiado para la conservación de las mariposas. Evidenciando así, la relación con la Bioingeniería, la cual busca proponer soluciones tecnológicas sostenibles al sector agroindustrial, además de brindar alternativas a la conservación y salud de los organismos.

4. Marco Referencial

4.1. Zoocriaderos de lepidópteros

Los zoocriaderos de lepidópteros son espacios de conservación adaptados para que éstos vivan en cautiverio, destinados especialmente a la cría y exhibición de mariposas, con un fin educativo, científico, conservacionista o lucrativo. Su importancia radica en dos aspectos, uno educativo y otro conservacionista-ecológico: 1. A nivel educativo constituyen una herramienta que enseña el proceso de metamorfosis de estos insectos, el papel ecológico que desempeñan en la naturaleza y las relaciones biológicas que mantienen con su entorno; cumple con todas las condiciones para realizar experimentos sobre biología, ecología y etología. 2. A nivel conservacionista y ecológico promueven y contribuyen a la protección y recuperación de especies amenazadas por las actividades antropogénicas, con el objetivo de liberarlas en su hábitat que han sido o están en proceso de recuperación (Figuerola, 2015).

Es importante tener en cuenta variables medioambientales como la temperatura y humedad relativa para adecuar el espacio en el cual se desarrollarán las mariposas, así como el material vegetal que se encuentra en su hábitat natural, ya que en estas depositan los huevos, son fuente de alimento para su estado larval y además condicionan la temperatura y la humedad relativa del recinto.

Las plantas son el recurso fundamental para que las mariposas puedan vivir y reproducirse; ya que su crecimiento, desarrollo y reproducción, dependen directamente de la calidad y cantidad de alimento utilizado por ellas en sus diferentes estadios de desarrollo (Vega, 2010).

Las mariposas se relacionan con dos tipos de plantas, las cuales utilizan de acuerdo a sus necesidades, unas son conocidas como nectaríferas o atrayentes, las cuales proporcionan néctar a los adultos; no son específicas y gran variedad de especies de mariposas pueden usarlas. El otro tipo de plantas son las hospederas o nutricias, utilizadas por la hembra para ovipositar y donde se alimentan y desarrollan las larvas (Bernal, 2017).

La relación entre las mariposas y las plantas inicia con la puesta de los huevos por la hembra en la planta hospedera correcta, la cual brinda a la larva alimento para que esta tenga un correcto desarrollo. Existen especies de mariposas, cuyas larvas pueden alimentarse de varios tipos de plantas y otras que son específicas (Vega, 2010). Por su parte, las plantas nectaríferas cumplen un papel fundamental en la reproducción de las mariposas; atraen principalmente a los machos, debido a que en ella se encuentran nutrientes precursores de feromonas sexuales que se hallan en el néctar de las flores (Vásquez *et al.*, 2017).

Las larvas se alimentan de las hojas de la planta hospedera; mientras los adultos se alimentan de heces de pájaros, frutas, polen y/o néctar de plantas nectaríferas con el fin de obtener energía que utilizan para el vuelo, la longevidad, la fecundación, la producción y puesta de huevos (Ruiz, 2011).

Con base en la importancia de las plantas para el establecimiento de zoocriaderos, es necesario contar con un vivero para la producción de los dos tipos de plantas usadas por las mariposas durante todo su ciclo de vida. Los viveros permiten prevenir y controlar los efectos generados por plagas y enfermedades que pueden afectar las plántulas en su etapa de mayor vulnerabilidad; así como protegerlas de condiciones ambientales extremas (Irigoyen & Cruz, 2005). Gracias a que se les proporcionan los cuidados necesarios y las condiciones propicias para lograr un buen desarrollo, las plantas tienen mayores probabilidades de sobrevivencia y adaptación cuando se les trasplanta a su lugar definitivo, en este caso, el mariposario (Vásquez *et al.*, 1997).

Dentro de las familias botánicas que agrupan un alto número de especies de mariposas para ovipositar y alimentar sus larvas se encuentran: Aganthaceae, Aristolochiaceae, Asclepiadaceae, Cannaceae, Euphorbiaceae, Heliconiaceae, Fabaceae, Passifloraceae y Solanaceae. Las plantas pertenecientes a estas familias suelen ser hierbas, enredaderas, arbustos, árboles y bejucos (Vega, 2010) que pueden encontrarse de forma natural en diversos ecosistemas y a su vez pueden ser producidos en vivero para ser trasplantados al mariposario.

A continuación, se hace una descripción de las plantas y de las especies de mariposas asociadas a éstas. Dichas plantas fueron tenidas en cuenta para la producción en el vivero del CBIOS y para su introducción en el mariposario.

***Passiflora edulis*- Maracuyá (Hospedera)**

Bejuco con tallo leñoso, las hojas son de color verde oscuro, las flores muestran pétalos de color blanco y los filamentos de la corola son de color morado en la base y blanco hacia la parte final, los frutos son en forma de huevo y cuando maduran pueden ser de color morado o amarillo. Las especies de mariposas que utilizan esta planta como hospedera pertenecen a la subfamilia Heliconiinae. Las imágenes de las especies se pueden ver en el Anexo 1 (Vega, 2010; García *et al.*, 2002).

***Passiflora ligularis* –Granadilla (Hospedera)**

Bejuco de consistencia dura, tallo cilíndrico y con estrías. Las hojas tienen forma de corazón y terminan en punta delgada y alargada, sus flores muestran pétalos de color blanco y púrpura: los frutos se asemejan a un huevo y pueden ser de color morado, amarillo o naranja. Las especies de mariposas que utilizan esta planta como hospedera pertenecen a la subfamilia Heliconiinae. Las imágenes de las especies se pueden ver en el Anexo 1B (Vega, 2010; García *et al.*, 2002).

***Musa paradisiaca*- Plátano (Hospedera)**

Es un híbrido entre las especies silvestres *Musa balbisiana* y *Musa acuminata* planta con el tallo bien desarrollado. Hojas grandes, oblongas u oblongo-elípticas, lámina con la vena media bien desarrollada, y numerosas venas paralelas, más o menos perpendiculares a la vena media. Fruto de 20-23 cm de longitud, de color verde inmaduros y de color amarillo con puntos cafés al madurar, la pulpa es de color blanco, sin semillas. Las especies de mariposas que utilizan esta planta como hospedera pertenecen a la subfamilia Morphinae. (Las imágenes de las especies se pueden ver en el Anexo 1C (Vega, 2010; García *et al.*, 2002).

***Asclepias curassavica*- Algodoncillo -Platanillo (Hospedera)**

Hierba erecta con tallo cilíndrico de hasta 1, 5 m de altura. La savia es blanca. Las hojas son opuestas. Las flores se presentan agrupadas de tal forma que dan la apariencia de una sombrilla, son muy vistosas por la combinación del color naranja de los sépalos con el amarillo de los pétalos. Los frutos secos son de 5 a 10 cm de longitud. Las semillas tienen pelos sedosos que les permiten flotar en corrientes de aire. Las especies de mariposas que utilizan esta planta como hospedera pertenecen a la subfamilia Danainae. Las imágenes de las especies se pueden ver en el Anexo 1D (Vega, 2010; García *et al.* 2002).

***Senna alata*- Mazorquilla (Hospedera)**

Arbusto frondoso de 1 a 4 metros de alto. Las hojas en forma de huevo se ubican alternamente a lo largo de los tallos velludos. Las flores son amarillas y se desarrollan formando densos racimos, cada flor se compone de cinco pétalos y dos estambres. Las semillas son aplanadas y de color gris oscuro. Las especies de mariposas que utilizan esta planta como hospedera pertenecen a la familia Pieridae. Las imágenes de las especies se pueden ver en el Anexo 1E (Vega, 2010; García *et al.*, 2002).

***Tropaeolum majus*- Capuchina (Hospedera-Nectarífera)**

Es una planta herbácea, tiene tallos rastreros tendidos en el suelo; de estos crecen peciolos, delgados, lisos y carnosos; de un color rojizo en la base y verde hacia la hoja. Las hojas son redondas, con venaciones radiales y textura rugosa; su sabor es ácido. La flor de la capuchina tiene cinco pétalos en forma de gota, son de color rojizo en el centro para atraer a los polinizadores al pedúnculo (almacén de néctar). El fruto lo componen tres semillas protegidas por una cubierta carnosa, caracterizada por un olor fuerte a cítrico; estas se dan en el lugar donde se encontraba la flor (Lala Team, 2015). La *T. majus* además de cumplir un papel como planta hospedera de las especies *Ascia monuste* (Betancur, 2017), *Tatochila autodice blanchardi* Butler (Olivares & Hormazabal, 1998), *Leptophobia aripa* (Sánchez, 2010) (Anexo 1F) y nectarífera para estas y otras especies de mariposas. Adicionalmente, esta planta tiene la capacidad alelopática y/o fitotóxica para controlar flora arvense como *Amaranthus retroflexus* (Bondia *et al.*, 2012) y controlar plagas como áfidos, caracoles, hormigas y mosca blanca (Mejía, 2016).

Las plantas antes descritas permitirán el desarrollo de las mariposas y al mismo tiempo, contribuirán a mantener las condiciones climatológicas requeridas por los lepidópteros, al crear microclimas en el zocriadero; puesto que las mariposas responden de forma rápida y precisa a los cambios climáticos. Estas respuestas se pueden observar en la fenología y la abundancia de las especies. El desarrollo de los estadios inmaduros (huevo, larva y pupa) varía según la temperatura del ambiente; dentro de un margen que se sitúa entre 10°C y 30°C para varias especies, su desarrollo se acelera a mayor temperatura o se ralentiza cuando la temperatura disminuye (Stefanescu, 2004). Lo mismo ocurre con la humedad relativa (HR), las mariposas no logran desarrollar sus alas por completo cuando se encuentran por debajo del 40% de HR. Las alas logran desarrollarse con una humedad oscilante entre 50% y 92% (Acosta & Blanco, 2009).

Las mariposas tienen la capacidad de entrar en un estado fisiológico de inactividad conocido como diapausa, cuando las condiciones ambientales no son las más favorables (Acosta & Blanco, 2009). Las condiciones ambientales óptimas para un correcto desarrollo de varias especies de mariposas tropicales, se encuentra entre los 20°C y 30°C de temperatura; mientras la humedad relativa esta entre 60% y 80% (Mariposario de Benalmádena, 2019).

Cabe la pena aclarar que el Laboratorio de Entomología no pretende trabajar con especies que se encuentren en algún grado de amenaza según lo estipulado en la Resolución 383 de 2010 "Por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se toman otras determinaciones". Por esta razón no se tendrá en cuenta la ley 17 del 22 de enero de 1981 Por la cual se aprueba la "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres", suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1973.

El Laboratorio de Entomología tiene interés de iniciar el pie de cría con las especies *Caligo* sp y *Danaus plexippus*. La *Caligo* sp en Colombia se encuentra en todo el país desde el nivel del mar hasta los 1500 m; mientras el *D. plexippus* se distribuye en todo el continente americano y Australia, con individuos reportados en Nueva Guinea y Europa Occidental, en Colombia se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2500 m (García *et al.*, 2002).

El ciclo de vida promedio de la *Caligo* sp es de 112 días (Figura 1). Los huevos tardan 11 días en eclosionar, la duración total de las larvas, es de 60 días, tiempo en el cual presentan cinco estadios; al término del instar V, las larvas dejan de alimentarse, reducen su longitud y aumentan su grosor, estado conocido como prepupa, el cual dura en promedio 4 días; las pupas tardan 21 días antes de que emerjan los adultos, los cuales viven aproximadamente 16 días. La cantidad promedio de alimento que se debe suministrar por individuo de *Caligo* sp es de 795,12 cm². La tabla 1 especifica el consumo foliar de cada uno de los estadios larvales, el tiempo de desarrollo y la talla (mm) en el ciclo de vida de la *Caligo* sp (Alfonso & Piracón, 2016).

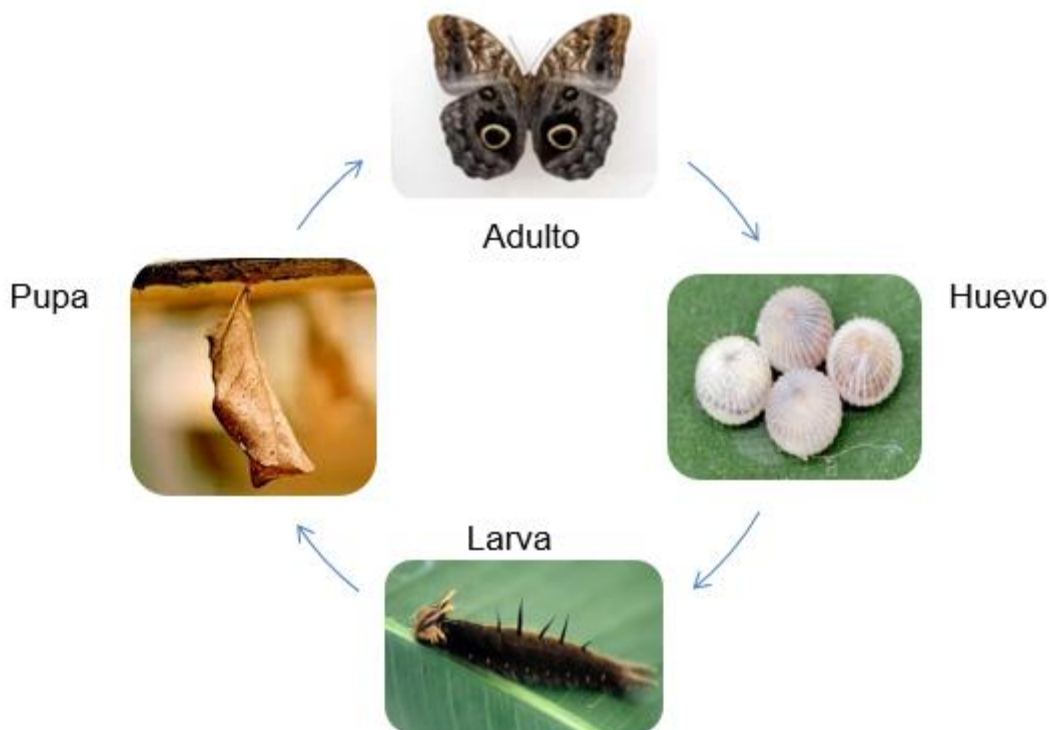


Figura 1 Ciclo de Vida de *Caligo sp*

Tabla 1 Ciclo de vida, Talla (mm) y Consumo foliar total (cm²) por estadio de *Caligo sp*

<i>Caligo sp</i>	Huevo	Instar I	Instar II	Instar III	Instar IV	Instar V	Prepupa	Pupa	Adulto
Días	11	14	11	11	11	12	4	21	16
Longitud (mm)	2	16	29	47	82	105	95	37 40	140 160
Consumo foliar (cm ²)	-----	3,17	12,99	58,78	194,34	525,84	-----	-----	-----

El ciclo de vida promedio de *Danaus plexippus* se encuentra entre tres y nueve meses, dependiendo de la época en la que emergen los adultos (Figura 2). Los huevos tardan entre cinco y siete días en eclosionar, la duración total de su estado larval, es aproximadamente 15 días, tiempo en el cual presentan cinco estadios; al término del instar V, las larvas se posicionan por la parte final del abdomen para aumentar su grosor y reducir su longitud para entrar al estado de prepupa, el cual tiene un día de duración; las pupas tardan 9 días antes de que emerjan los adultos, quienes pueden llegar a vivir ocho meses si nacen en otoño para su proceso de migración, mientras los individuos que emergen durante la primavera y el verano viven entre 2 – 6 semanas. La cantidad promedio de alimento que se debe suministrar por individuo de *D. plexippus* es de 149,8 cm². La tabla 2 especifica el tamaño (cm²) de la hoja que requiere cada uno de los instares larvales, el tiempo de desarrollo y la talla (mm) en el ciclo de vida de la *D. plexippus* (García, 2014).

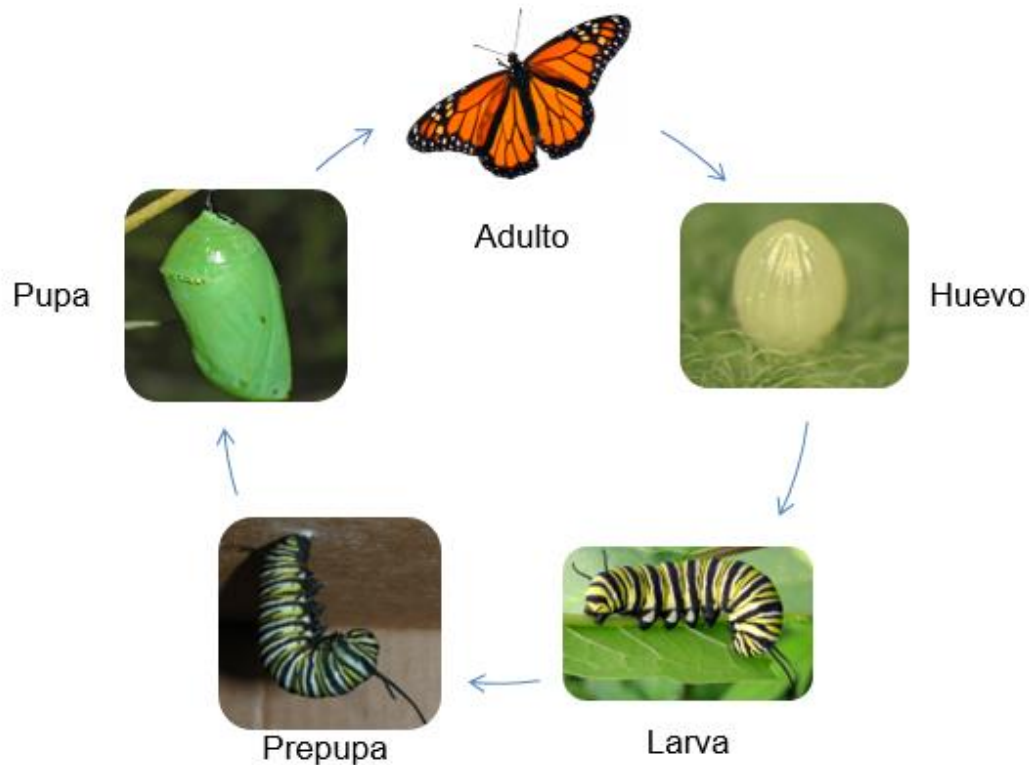


Figura 2 Ciclo de Vida *Danaus plexippus*

Tabla 2 Ciclo de vida, Talla (mm) y Consumo foliar total (cm²) por estadio de *Danaus plexippus*.

<i>Danaus plexippus</i>	Huevo	Instar I	Instar II	Instar III	Instar IV	Instar V	Prepupa	Pupa	Adulto
Días(d)- meses (m)	5-7d	2d	2d	2d	3d	3-4d	1d	9d	3-9 m
Longitud (mm)	1,1	2	5	9,4	15	25-40	95	37 40	80 120
Tamaño de hoja (cm ²) para consumo	-----	7	7	10	14	25	-----	-----	-----

4.2. Sistemas de control

Un sistema control es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal forma que este es capaz de controlarse a sí mismo (Hernández, 2010). En la figura 3 se representa en un diagrama de bloques el sistema de control.

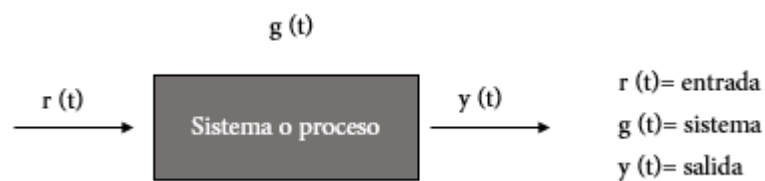


Figura 3 Representación en diagramas bloques de un sistema de control (Autor)

4.2.1. Clasificación de los Sistemas de Control.

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto o no automáticos y sistemas de lazo cerrado, retroalimentados o automáticos (Hernández, 2010).

4.2.1.1. Sistema de control de lazo abierto.

Son aquellos sistemas en el cual la acción de control es independiente de la salida; es decir, la salida no se realimenta para compararla con la entrada (Pérez *et al.*, 2008 Figura 4). En general estos sistemas están regulados por el tiempo y su exactitud depende de su calibración (Hernández, 2010).

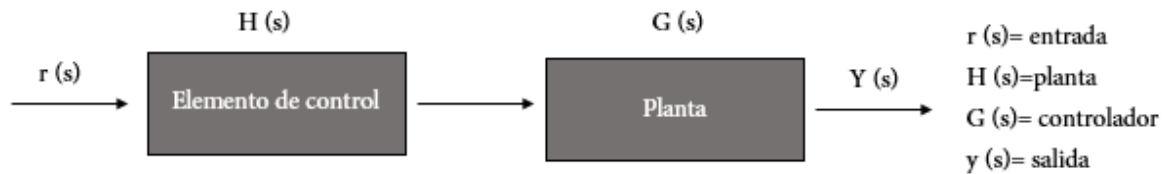


Figura 4 Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto (Autor)

4.2.1.2. Sistema de control de lazo cerrado.

Son aquellos sistemas en el cual la acción de control depende de la salida; es decir; el sistema tiene un sensor que detecta la respuesta real para compararla con la entrada (Hernández, 2010) (Figura 5). La diferencia entre la entrada y la salida debe ser proporcional a la acción de control, para disminuir el error y corregir la salida (Pérez *et al.*, 2008).

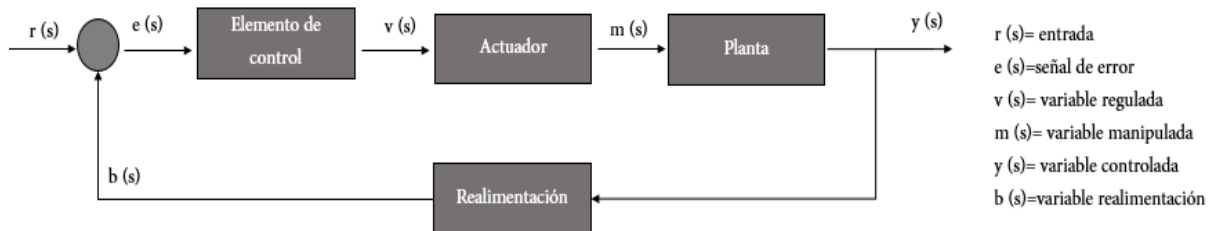


Figura 5 Diagrama de bloques de un sistema realimentado (Autor)

4.2.2. Controlador de dos posiciones o de encendido-apagado (ON-OFF)

Un controlador ON-OFF es un sistema de control de lazo cerrado. Es la forma más simple para el control de la temperatura y la humedad relativa. La salida del controlador es $b(t)$ y la señal de error $e(t)$, la señal del controlador $b(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, dependiendo de que la señal de error del actuador sea positiva o negativa, de modo que si $e(t)$ es menor que cero, entonces pasa a un estado y si es positiva pasa a otro estado; es decir, un controlador ON-OFF cambia la salida sólo cuando la temperatura atraviesa el punto de ajuste, la salida se activa cuando la temperatura y/o humedad relativa está por debajo del punto de ajuste, y se apaga cuando está por encima del mismo, en los casos en el que este ciclo se produce rápidamente y evitar daños en los actuadores, se añade un diferencial de encendido y apagado o “histeresis”, a las operaciones del controlador; Este diferencial requiere que la temperatura y/o humedad

relativa exceda del punto de ajuste por una cierta cantidad antes de que se active o desactive de nuevo (Carrillo, 2011).

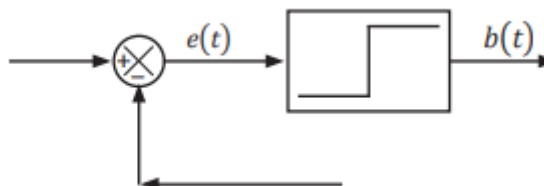


Figura 6 Controlador de dos posiciones (Fuente: Carrillo, 2011)

Temperatura

Es una medida arbitraria de la intensidad del calor que posee una sustancia. Igualmente, podemos definir la temperatura como la fuerza guía para que ocurra una transferencia de calor (Díaz, 2001).

Temperatura Seca (Ts)

Es la temperatura normal que se conoce, es decir es la temperatura del aire húmedo, y por tanto la del aire seco y la del vapor de agua (Méndez, 2011).

Temperatura Húmeda

Es la temperatura estacionaria alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de mezcla vapor-gas (Méndez, 2011).

Temperatura de Saturación o de Rocío

Es la temperatura a la cual la mezcla vapor-gas se satura cuando se enfría a humedad absoluta constante, es decir, fuera del contacto con un líquido. Se expresa en unidades de °C, °F o en unidades absolutas (Méndez, 2011).

Humedad Relativa (HR)

Es una medida de grado de saturación del aire a cualquier temperatura dada, se expresa en por ciento (%) de saturación. El aire saturado tiene 100 % HR y el aire perfectamente seco 0 % HR. La HR se define como la relación que existe, expresada en por ciento (%), entre la presión parcial del vapor de agua de la mezcla y la presión de saturación de dicho vapor correspondiente a la temperatura seca de la mezcla: (Pinazo, 2009).

$$Hr = \frac{pv \times 100}{p \, vs}$$

p_v = presión parcial del vapor de la mezcla en Kg /m²

p_{vs} = presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de bulbo seco de la mezcla en Kg/m².

4.3. Marco legal

En el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974), el Artículo 248 establece que la fauna silvestre que se encuentra en el territorio nacional pertenece a la nación, salvo las especies de los zoocriaderos y cotos de caza de propiedad particular; esto indica que los ejemplares que el laboratorio posea en el mariposario son propiedad de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Así mismo el Artículo 254 define al zoocriadero como el área de propiedad pública o privada que se destina al mantenimiento, fomento y aprovechamiento de especies de la fauna silvestre con fines científicos, comerciales, industriales o de repoblación.

El Estatuto Nacional de Protección de los Animales Ley 84 De 1989 “Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia”. El Artículo 29 define a los lepidópteros como animales silvestres, bravíos o salvajes ya que viven libres e independientes del hombre. Al mismo tiempo, estipula que el comercio de animales silvestres sólo se permitirá cuando los ejemplares sean obtenidos de zoocriaderos establecidos mediante autorización del MINAMBIENTE dicho comercio conforme a lo estipulado en el Decreto 1608 de 1978.

En cuanto a la Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones” cabe resaltar el Artículo 48, que estipula la responsabilidad inaplazable e inherente al ejercicio de propender, impulsar y apoyar, todos los programas encaminados a la protección del patrimonio pecuario nacional, de los recursos naturales, de la biodiversidad, de la fauna silvestre y del medio ambiente dentro de un manejo técnico y racional.

La Política Nacional de Biodiversidad ratifica los planteamientos del Convenio de Diversidad Biológica (Ley 165 de 1994). Esta política se fundamenta bajo cinco principios: 1. La biodiversidad es patrimonio de la nación y tiene un valor estratégico para el desarrollo presente y futuro de Colombia. 2. La diversidad biológica tiene componentes tangibles a nivel de moléculas, genes y poblaciones, especies y comunidades, ecosistemas y paisajes. 3. Entre los componentes intangibles están los conocimientos, innovaciones y prácticas culturales asociadas. 4. La biodiversidad tiene un carácter dinámico en el tiempo y el espacio, y se deben preservar sus componentes y procesos evolutivos. 5. Los beneficios derivados del uso de los componentes de la biodiversidad deben ser utilizados de manera justa y equitativa en forma concertada con la comunidad, estos principios tienen en cuenta el hecho de que la biodiversidad es esencial para la supervivencia por los múltiples usos y servicios ambientales que brindan, como los combustibles fósiles, alimentación, fibras naturales y subproductos que provienen de ella (Ambiente & Alexander Von Humbolt, 1995).

La ley 611 de 2000 dicta normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática. Define al zoocriaderos como cría, mantenimiento, fomento y/o aprovechamiento de especies de la fauna silvestre y acuática en un área claramente

determinada, con fines científicos, comerciales, industriales, de repoblación o de subsistencia; dicha ley estipula tres tipos de zoocriaderos permitidos en Colombia:

a) **Zoocriaderos abiertos.** Son aquellos en los que el manejo de la especie se realiza a partir de capturar periódicamente en el medio silvestre, especímenes en cualquiera de las fases del ciclo biológico, incorporándose en el zoocriadero hasta llevarlos a una fase de desarrollo que permita su aprovechamiento final.

b) **Zoocriaderos cerrados.** Son aquellos en los que el manejo de la especie se inicia con un pie parental obtenido del medio silvestre o de cualquier otro sistema de manejo de fauna, a partir del cual se desarrollan todas las fases de su ciclo biológico para obtener los especímenes a aprovechar.

c) **Zoocriaderos mixtos.** Son aquellos en los cuales se maneja una o varias especies, tanto en ciclo abierto como en ciclo cerrado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ley 611, 2000).

El Decreto 1376 de 2013 reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, esta permite que las Instituciones Nacionales de Investigación obtengan permisos marco de recolección que les permitirán, por el término de 10 años desde la expedición del permiso, adelantar labores de recolección de especímenes de especies silvestres para todos los proyectos de investigación científica, no comercial, que adelanten los investigadores vinculados a dichas instituciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

La Universidad Jorge Tadeo Lozano cuenta con la licencia ambiental AUTO 4101 otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el 17 de septiembre de 2014, que permite a la Universidad la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial. Es importante aclarar que la Universidad no hará uso de esta licencia, puesto que obtendrá los ejemplares de zoocriaderos autorizados por el MINAMBIENTE, por ende, el zoocriadero desarrollado en este trabajo, es de tipo cerrado.

5. Antecedentes

El Centro de Biosistemas en el año 2010 reemplaza al Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA) que se fundó en el año 1991 mediante un convenio de cooperación internacional suscrito entre la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica). El CBIOS cuenta con cuatro laboratorios; uno de ellos es el Laboratorio de Entomología que cuenta con experiencia de más de 15 años realizando pruebas de eficacia y de control de calidad para artrópodos plaga.

En el año 2016 se llevó a cabo un proyecto para la cría de la mariposa búho, *Caligo telamonius* en condiciones de sabana de Bogotá dentro de las instalaciones del CBIOS. Alfonso y Piracón adaptaron una casa malla de aproximadamente 16m² de superficie y una altura de 2,5 m dentro del semillero del CBIOS. Las mariposas se mantuvieron con temperaturas entre 9°C y 35°C a lo largo del día y la humedad relativa entre 60% y 80%. El objeto de este trabajo fue generar un modelo de bioprospección en educación con *C. telamonius* al determinar los parámetros biológicos del ciclo de vida de esta especie y construir un mariposario en el colegio José Antonio Galán IED como herramienta pedagógica para el desarrollo del pensamiento científico de los estudiantes. Cabe resaltar que la duración promedio del ciclo de vida de la *C. telamonius* en condiciones de cautiverio en la Sabana de Bogotá es de 112 días.

Con base en el proyecto anterior, surgió la idea por parte del Laboratorio en construir un mariposario más grande en el que se pudieran incluir diferentes especies de mariposas, incluyendo la *C. telamonius*. Para tal fin, el Laboratorio contaba con varios espacios para adaptar el zoocriadero de lepidópteros: En el Invernadero de Control Biológico (figura 7), se tiene el cuarto de plantas limpias (1), lugar donde se realizó la adaptación para el vivero del zoocriadero (figura 8C.). El mariposario se desarrolló en uno de los cuartos vacíos (figura 6B) de la Huerta Agroecológica ubicado en la zona sur del CBIOS.



Figura 7 Invernadero de Control Biológico (Laboratorio, 2017. Hecho por: Barrero, G)

El cuarto de plantas limpias (1) tiene una sección con tres mesas de madera 60x295x87cm, y esta sección se encuentra separada por plástico del resto del cuarto (figura 6A). El cuarto vacío destinado para el mariposario tiene una dimensión de 4,10 x

6 x 5 m, contaba con una polisombra blanca de 90% de cobertura de luz que cubría la mitad del techo del cuarto y no disponía de energía eléctrica.

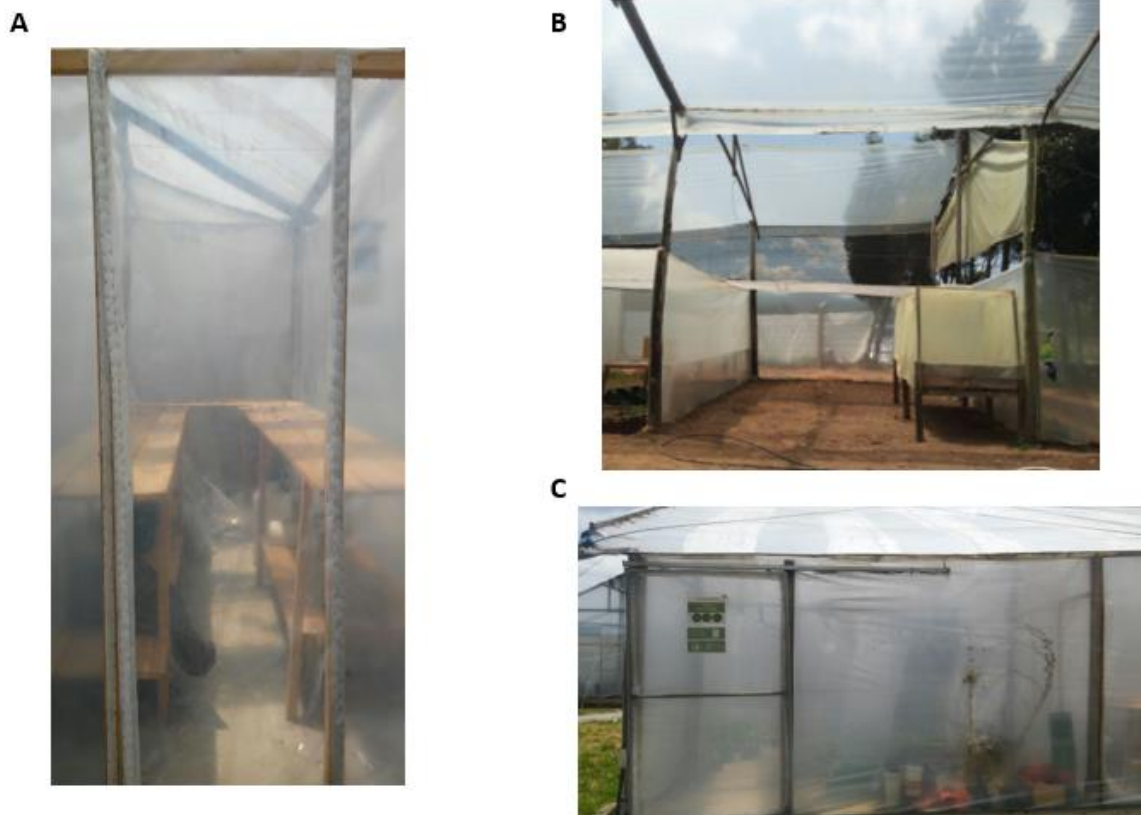


Figura 8 Espacios destinados para el desarrollo del zoocriadero de lepidópteros. A) Cuarto destinado para vivero del zoocriadero, B) Espacio destinado para el zoocriadero de lepidópteros, C) Cuarto de plantas limpias (Autor)

En Colombia la construcción de mariposarios y sus aportes a la generación de conciencia y cuidado del medio ambiente, se inicia en el año 1968 cuando el Jardín Botánico de Medellín crea el primer mariposario, denominado “La casa de las mariposas”, donde se proporciona protección, alimento y condiciones ambientales para una adecuada conservación de este grupo de organismos (Ortega & Rodríguez, 2016). En la actualidad no solo se busca la concientización en el cuidado y preservación de la biodiversidad, sino también implementar nuevas ideas para generar ingresos económicos explotando de manera sostenible los recursos biológicos; una de estas ideas, es el manejo productivo de la biodiversidad a través de trabajos de investigación y tecnologías locales (Sánchez, 2004).

Un ejemplo de ello es la “Creación de un mariposario de la monarca como atractivo turístico en la Ciudad de Toluca, México para la conservación de la especie”, proyecto que nace de la tala clandestina, uso de pesticidas y la expansión del turismo a áreas naturales y reservas de la biosfera de la mariposa monarca, con el objeto de preservar esta especie y mantener las actividad turística, el mariposario es un atractivo turístico, que busca ser un espacio de conservación y preservación de la especie que recree la vida, el tiempo libre de visitantes de cualquier edad, creando una conciencia acerca de

la lucha por la existencia y supervivencia de la monarca, y que se guíe a futuras generaciones hacia una mejora ambiental tanto en los hábitats del insecto como en las rutas de migración. Permitiendo a los viajeros que quieran conocerla disfruten de este hecho natural sin saturar su hábitat (Badillo, 2016).

En Colombia se adelantan trabajos en el desarrollo de protocolos para la cría controlada de lepidópteros como atractivo turístico, conservación, pedagogía y biocomercio. El mariposario más representativo en Colombia se encuentra en el Quindío conocido como el “Jardín de Mariposas del Quindío”, su construcción en forma de mariposa alberga a más de 1.500 mariposas de 30 diferentes especies nativas. En la ciudad de Pereira se encuentra el mariposario Amaranta, el cual, cuenta con 30 especies de mariposa y brinda talleres para colegios y empresas, buscando la integración hombre y naturaleza. (Ortega & Rodríguez, 2016).

Dentro del centro comercial Puerta del Norte ubicado en el municipio de Bello Antioquia se encuentra el único mariposario de Latinoamérica ubicado en una zona urbana. el “Mariposario Selva Viva”, cuenta con 30 especies en exhibición con el fin de concientizar a los visitantes del centro comercial sobre su relación con el medio ambiente. Las empresas Alas de Colombia y Mariposas Nativas Ltda, inician el zoo cría de mariposas en 2001, como una alternativa para el desarrollo sostenible de la biodiversidad, al abrir un nuevo mercado de exportaciones de mariposas a Europa en el 2004, demostrando las bondades del biocomercio. Hoy Alas Colombia posee un mariposario interactivo empleado para mostrar al público en general este proceso (Ortega & Rodríguez, 2016).

Actualmente en Colombia existen empresas dedicadas al biocomercio sostenible de lepidópteros desde aproximadamente 10 años. Entre ellas encontramos Tesoros de Colombia, empresa dedicada a la comercialización internacional de aproximadamente 36 especies diferentes de mariposas; además, de contar con un programa para la educación de conservación comunitaria. Asimismo, la empresa Alas de Colombia, mariposas nativas Ltda, se dedica a la exportación y venta de 14 diferentes especies, igualmente, ofrecen productos decorativos y accesorios elaborados con mariposas que terminaron naturalmente su vida. Otras empresas como Mariposas La Trinidad S.A.S aparte de vender las pupas, ofrece un catálogo de plantas hospederas y nectaríferas, del mismo modo brinda planes de restauración ecológica; mientras Mariposas son Colombia ofrece consultorias técnicas y normativas encaminadas a la sostenibilidad ambiental, social y económica; de la misma forma que la venta de mariposas. Cabe resaltar que Alas de Colombia y Mariposas Son Colombia son las únicas empresas que cuentan con la exhibición de los especímenes en un mariposario.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un espacio con un sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura para futuro uso como zoocriadero cerrado de lepidópteros en el centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

6.2. Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar la estructura de un espacio destinado como zoocriadero de lepidópteros.
- Establecer los procesos para la adecuación interna del espacio destinado para el posterior uso como zoocriadero mediante la introducción de material vegetal.
- Diseñar e implementar el sistema de monitoreo de la temperatura y humedad relativa; y el control de la temperatura para un futuro zoocriadero de lepidópteros.
- Comparar las señales adquiridas con el sistema de monitoreo, las definidas en el sistema de control y las mediciones de un sensor comercial (data logger-escort).

7. Requerimientos

A continuación, se presentan los requerimientos funcionales, de operación y de restricción tenidos en cuenta para el desarrollo del presente proyecto.

7.1. Requerimientos Funcionales

- El sistema debe monitorear las variables físicas de temperatura y humedad relativa.
- El sistema debe controlar la temperatura del mariposario, en un rango entre 10° (Tmín) y 35°C (Tmáx) con una tolerancia de ± 5 °C.

7.2. Requerimientos de Operación

- Los equipos e instrumentos instalados deben estar capacitados para trabajar con temperaturas entre 0 y 40 °C y humedad relativa entre 30 y 100%.
- Los equipos instalados deben respetar la norma de cableado para lugares donde se manejan altos niveles de humedad y temperatura.
- El sistema debe permitir la visualización y el almacenamiento de los datos de temperatura y humedad relativa.
- Los sistemas de control serán internos (dentro del zoocriadero), alojados en un gabinete que cumpla normas IP o NEMA para la intemperie.

7.3. Requerimientos de Restricción

- Los materiales deben ser de bajo costo, reutilizables y durables.
- El espacio debe ser mayor a 15m² con capacidad para mínimo seis personas.
- El espacio debe ser cerrado y permitir a los visitantes y las mariposas compartir un mismo espacio.

8. Metodología

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones del Centro de Biosistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Ubicada en la vereda Sindamanoy en Chía, Cundinamarca. La cruz amarilla de la figura 9 indica el lugar del invernadero donde se realizó la construcción del zocriadero de lepidópteros.



Figura 9 Imagen satelital de la locación del Centro de Biosistemas. (Tomada de Google Maps, 2019)

8.1. Diseño e Implementación de la Estructura del Mariposario.

El mariposario se dispuso dentro de la huerta agroecológica del CBIOS, en un cuarto de 27m², con paredes de plástico transparente calibre seis (6), contaba con una polisombra blanca de 90% de cobertura de luz que cubría la mitad del techo del cuarto y no disponía de energía eléctrica. Fuera del cuarto, en la parte trasera se encuentra una valla de polisombra que evita el paso de las abejas de tres colmenas a la propiedad continua; sin embargo, la polisombra limita el paso de las corrientes de aire al cuarto del mariposario.

Se tomaron medidas del recinto para realizar los planos del mariposario, con el fin de tener una representación gráfica a escala con dimensiones generales de la estructura en la que se desarrolló el zocriadero. Los planos del mariposario se desarrollaron en el programa de modelado Rhinoceros 3D; además se elaboraron renders en la extensión

de programa V-Ray para percibir una proporción del mariposario, su composición y los diferentes materiales que se usaron en su elaboración con el fin de tener una aproximación del producto terminado.

Los materiales utilizados para la implementación del diseño, se escogieron buscando siempre la economía y reutilización de los materiales sobrantes de otros proyectos del CBIOS; además que fueran adecuados para albergar los entes biológicos y conservar la temperatura del recinto (ver materiales en presupuesto, Anexo 3). La construcción se llevó a cabo con la colaboración del equipo de mantenimiento del CBIOS, quienes están capacitados para este tipo de labores. Su implementación inicial tardó dos meses; sin embargo, a lo largo del desarrollo del proyecto se fueron realizando adecuaciones para mantener las condiciones de temperatura que requieren las mariposas.

8.2. Adecuación Interna del Mariposario

Para llevar a cabo el segundo objetivo de este trabajo, fue necesario producir el material vegetal hospedero y nectarífero para las mariposas y hacer el trasplante de las mismas al espacio del mariposario; adicionalmente se realizó la adecuación estética interna del recinto para generar un ambiente cómodo y agradable al público para su recorrido.

8.2.1. Producción del material vegetal.

El material vegetal necesario para brindarle a las mariposas hospedaje y alimento, fueron producidas en el vivero del Laboratorio de Entomología, el cual cuenta con un área de 7,4 m² y está compuesto por tres mesas de madera para colocar las bandejas de germinación, materas y herramientas, se encuentra sellado por plástico; y tiene una polisombra negra (Figura 10).

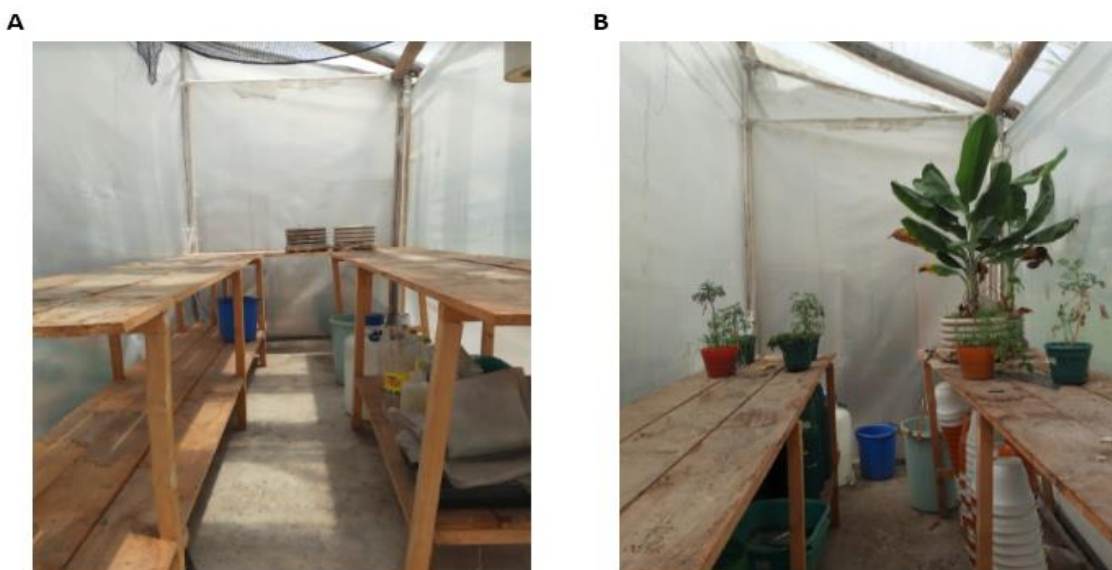


Figura 10. Vivero del zoocriadero de lepidópteros. A) Área de conservación de las plantas. B) Plantas situadas en el vivero. (Autor)

El material vegetal utilizado fue adquirido en diferentes estados fenológicos como plántulas y plantas en estado vegetativo. Para el plátano, se usó su estado de propagación asexual conocido como rizoma. La granadilla, lulo, maracuyá, plátano y capuchina se adquirieron del CBIOS; mientras que las plantas de algodoncillo, mazorquilla y lantana fueron compradas en el vivero de la empresa Rincón Verde (tabla 3)

Tabla 3. Material Vegetal producido en el vivero

Nombre Común	Nombre científico	Origen	Tipo de Planta	Estado Fenológico	Estratificación
Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i>	Semillero CBIOS	Hospedera	Plántula	Bejuco
Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	Semillero CBIOS	Hospedera	Plántula	Bejuco
Lulo	<i>Solanum quitoense</i>	Semillero CBIOS	Hospedera	Plántula	Arbusto perenne
Capuchina	<i>Tropaeolum majus</i>	Lab. Entomología	Nectarífera Hospedera	Plántula	Perenne Trepadora
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	Lab. Entomología	Hospedera	Rizoma	Hierba perenne
Mazorquilla	<i>Senna alata</i>	Rincón Verde	Hospedera	Plántula	Arbusto
Algodoncillo	<i>Asclepias curassavica</i>	Rincón Verde	Hospedera	Plántula	Hierba
Lantana	<i>Lantana sp</i>	Rincón Verde	Nectarífera	Plántula	Arbusto

Se adquirieron plántulas de maracuyá, granadilla, lulo, mazorquilla y algodoncillo de 80-90 días de edad, almacenadas en bolsas negras de 7x14 cm con una altura aproximada de 5 cm. Los rizomas de plátano fueron adquiridos de plantas de proyectos anteriores del CBIOS. El material vegetal fue trasladado al vivero del zoocriadero localizado en el Invernadero de Control Biológico (Figura 8). Allí, las plántulas y los rizomas fueron trasplantados en materas de 14 cm en una mezcla de turba con fibra de coco (2:1), las cuales se ubicaron en mesas bajo polisombra. El riego se realizó de forma manual con regadera en horas de la mañana cada tercer día hasta que las plantas alcanzaran una altura de 10-15 cm para su disposición final al interior del mariposario. Se utilizó el fertilizante complejo Master 17-6-18 en una dosis de 30 g/L.

El trasplante del material vegetal del vivero al mariposario se efectuó una vez la planta alcanzó la altura antes mencionada. Para tal fin, fue necesario realizar una limpieza manual del área del mariposario removiendo las arvenses presentes alrededor de la zona de trasplante. La disposición final de las plantas se realizó en horas de la tarde, para ello se descompactó y humedeció el suelo; para cada planta se abrió un agujero de 40x40x40 cm, y se agregó compost-vermicompost (1:1) mezclado con suelo. Posteriormente, se extrajo cada planta en bloque de la materia evitando el daño de las raíces, se dispuso en el agujero y finalmente se rellenó con suelo.

Las especies que corresponden a enredaderas (maracuyá, granadilla, capuchina) se trasplantaron en el suelo del mariposario a 20 cm de las paredes de plástico y la distancia de siembra fue aproximadamente de 70 cm; a cada pared se le adaptó un juego de cuerdas para que las plantas tuvieran un soporte para crecer y desarrollarse adecuadamente. Las especies perennes (plátano y lulo) se trasplantaron a materas de mayor tamaño a medida que las plantas se desarrollaban, esto con el objeto de controlar y restringir su crecimiento (Poorter *et al.*, 2012) para evitar que deterioren la estructura del mariposario y afecten el desarrollo de las demás plantas por el tamaño que logran alcanzar estas especies.

Con base en esto, se realizó un protocolo para la producción y mantenimiento del material vegetal para el zoocriadero de lepidópteros como guía base para el personal del CBIOS.

8.2.2. Ambientación y adecuación estética interna del mariposario.

Para la ambientación y adecuación estética al interior del mariposario se incorporó un sendero, una fuente de agua y comederos para las mariposas. Se utilizó recipientes de plástico con el fin de fabricar los comederos de frutas y bebederos de néctar.

El sendero se construyó con el objetivo de permitir al laboratorio hacer visitas guiadas dentro del mariposario, para ello, se diseñó una plataforma en rejillas de plástico negras y gravilla para que las personas puedan ingresar y hacer recorridos sin dañar el material vegetal. A su vez se instaló una fuente de agua situada en medio del recinto, la cual buscaba aumentar el porcentaje de humedad y cumplir un papel paisajístico al articular el espacio y armonizar el ambiente.

Los materiales empleados para fabricar la fuente fueron dos (2) materas de plástico, tres (3) recipientes decorativos, 5 m de varilla lisa de 1/8", 1 m de manguera transparente 1/2" y una bomba sumergible para fuente. La matera superior de la fuente se instaló con el fin de ser el recipiente para incorporar en un futuro humidificadores que permitan aumentar el porcentaje de humedad y al mismo tiempo genere un ambiente de niebla dentro del mariposario.

8.3. Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura

En esta sección se exhibe la propuesta implementada para el desarrollo del proyecto, el diseño global, su análisis y el diseño detallado por los módulos que se trabajaron.

8.3.1. Diseño Global.

En la Figura 11, se presenta el esquema del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura desarrollado en el presente proyecto.

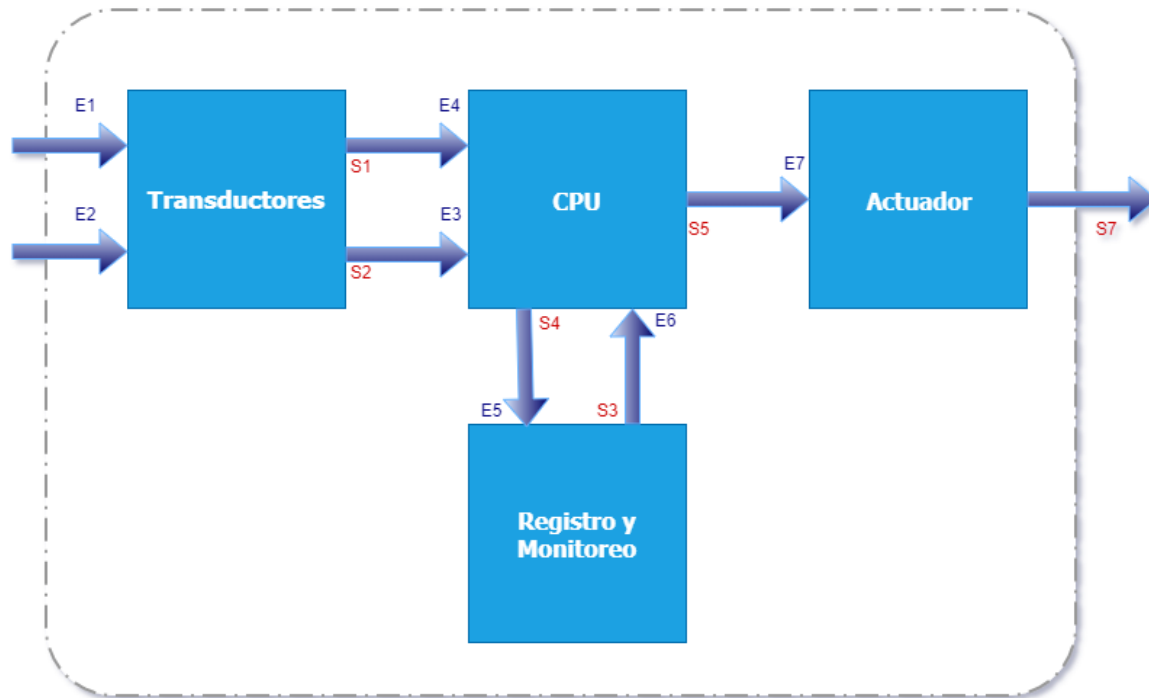


Figura 11 Esquema del sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad relativa (Autor)

A continuación, se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 9:

- E1: Temperatura del mariposario, que oscila en un rango entre 4° y 40°C.
- E2: Humedad relativa del mariposario, entre 45% y 100%.
- E3-S2: Humedad relativa del mariposario, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V.
- E4-S1: Temperatura del mariposario, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V.
- E5-S4: Registro de la temperatura y humedad relativa actual del sistema.
- E6-S3: Almacenamiento de la temperatura y humedad relativa del sistema.
- E7-S5: Señal que eléctrica que activa el actuador temperatura. (5V encendido/ 0V apagado).
- S7: Temperatura en el rango de 10° y 35°C.

8.3.2. Diseño Detallado.

En esta sección se describe el diseño de cada uno de los módulos que se tienen como resultado del diseño global. En el anexo 4 - Esquemático del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura, se encuentra el detalle de los circuitos diseñados.

8.3.2.1. Transductores.

El módulo de transductores es el encargado de captar las señales físicas de temperatura y humedad relativa, las cuales serán las entradas para el modulo CPU.



Figura 12 Transductores (Autor)

A continuación, se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 12.

- E1: Temperatura del mariposario, que oscila en un rango entre 4° y 40°C.
- E2: Humedad relativa del mariposario, que oscila en un rango entre 45% y 100%.
- S1: Temperatura del mariposario, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V.
- S2: Humedad del mariposario, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V.
- Teniendo en cuenta esta descripción se levantaron los siguientes requerimientos para el modulo Transductores.
 - El sistema deberá censar la temperatura del mariposario en grados centígrados (°C), que oscila en un rango entre 4° y 40°C.
 - El sistema deberá censar el porcentaje de la humedad relativa del mariposario, entre 40% y 100%.
 - El sistema deberá ser un transductor que convierta una magnitud física a magnitudes eléctricas, las cuales serán las entradas al sistema de control.

8.3.2.2. Unidad Central de Procesos (CPU).

El modulo CPU se encarga de controlar la temperatura del mariposario, y además transmitir los datos de la temperatura y humedad relativa adquiridos al módulo de registro y monitoreo.

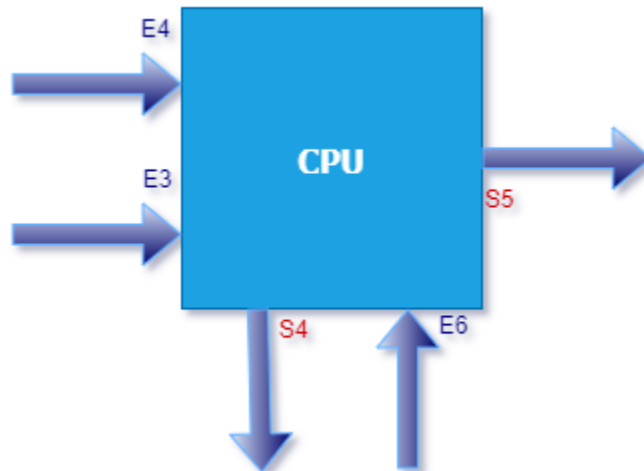


Figura 13 Unidad central de procesos (Autor)

A continuación, se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 13.

- E3: Humedad relativa del mariposario, transformada a unidades eléctricas, que pueden ser voltajes o corrientes.
- E4: Temperatura del mariposario, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V.
- E6: Almacenamiento de la temperatura y humedad relativa del sistema.
- S4: Registro de la temperatura y humedad relativa actual del sistema.
- S5: Señal eléctrica que activa el actuador temperatura. (5V encendido/ 0V apagado).

El sistema de control de temperatura se representa en la figura 14. El sensor (DHT22) toma la medida de la temperatura y la envía al controlador (Arduino Mega2560), quien realiza la comparación de la muestra tomada por el sensor con los valores requeridos por el mariposario (10°C-35°C) para mantener las condiciones ambientales del recinto. El controlador envía una señal de encendido o apagado (ON-OFF) al calefactor, el cual modifica el valor de la temperatura interna del mariposario. Luego el DHT22 toma el valor de la temperatura y envía la señal al Arduino. El ciclo se repite continuamente, pues el Arduino muestrea el valor del DHT22 cada 20 segundos.

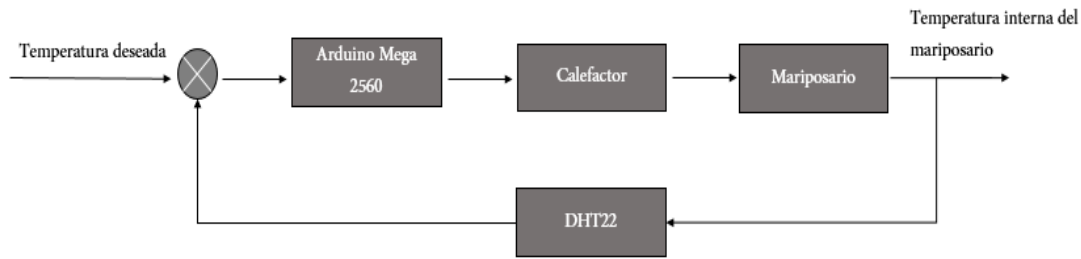


Figura 14 Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura (Autor)

A continuación, la Figura 15 se presenta el diagrama de flujo del programa usado para la adquisición de datos de temperatura y humedad relativa, su visualización en una pantalla LCD y almacenamiento en una unidad Micro SD para el sistema de monitoreo; y la actuación del calefactor en el sistema de control de temperatura para mantener esta variable, bajo los requerimientos establecidos para la supervivencia de las mariposas.

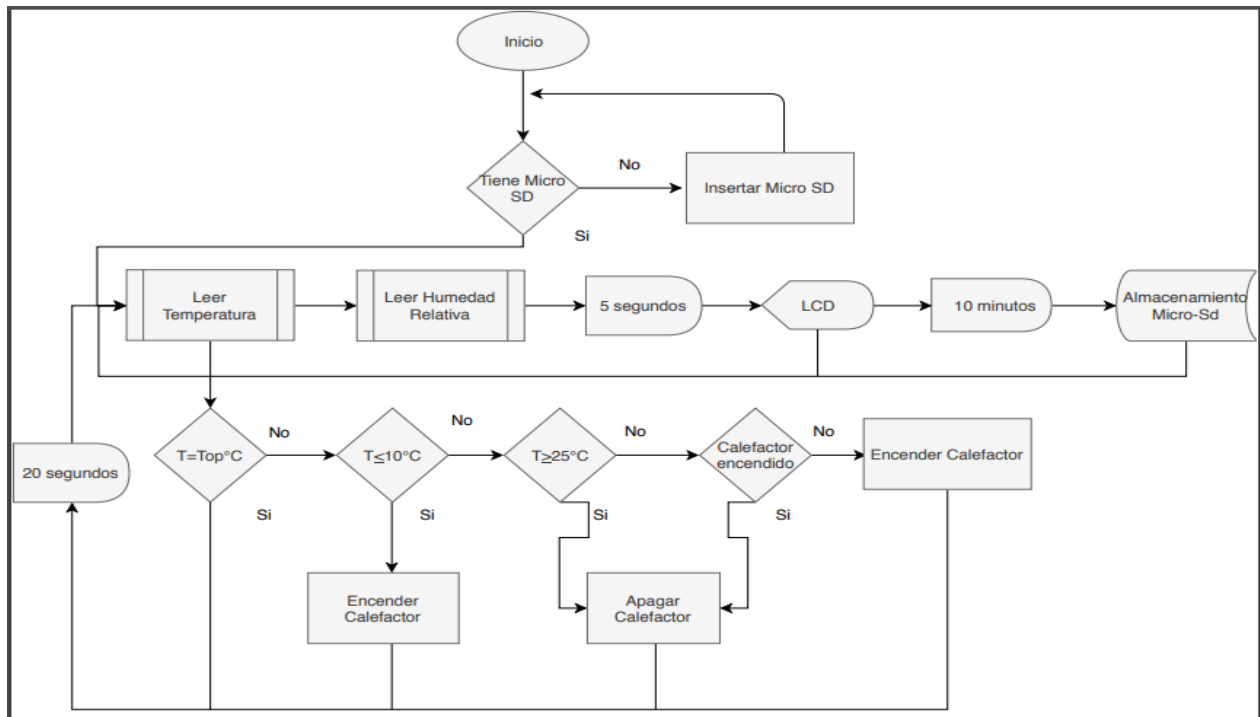


Figura 15 Diagrama de flujo, programación del CPU. (Autor)

8.3.2.3. Actuadores.

En el módulo actuadores se encuentran los dispositivos con los cuales se configura la temperatura y la humedad relativa del mariposario.

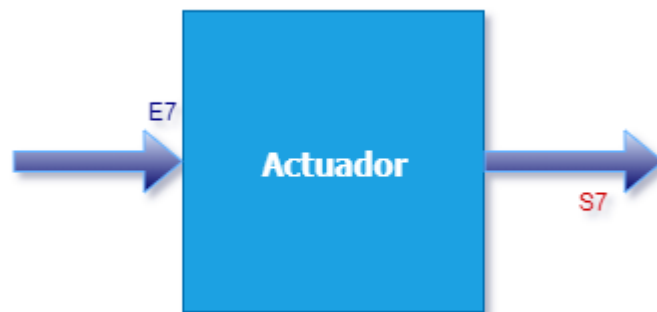


Figura 16 Actuadores del sistema (Autor)

A continuación, se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 16.

- E7: Señal eléctrica que activa el actuador temperatura. (5V encendido/ 0V apagado).
- S7: Temperatura en el rango de 10° y 35°C.

Teniendo en cuenta estas descripciones se levantaron los siguientes requerimientos para el modulo actuadores.

- El actuador de temperatura deberá accionarse, al recibir la señal mediante la entrada (E7), y deberá subir hasta 35°C, la temperatura del mariposario, con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.

8.3.2.4. Registro y Monitoreo.

El módulo de registro y monitoreo, será el encargado de almacenar los datos adquiridos en el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa del mariposario.



Figura 17 Registro y monitoreo (Autor)

A continuación, se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 17.

- E5: Registro de la temperatura y humedad relativa del sistema.
- S3: Almacenamiento de la temperatura y humedad relativa del sistema.

Teniendo en cuenta las descripciones se levantaron los siguientes requerimientos para el módulo de registro y monitoreo.

- El sistema deberá recibir la temperatura del mariposario entre 4°C y 40°C.
- El sistema deberá recibir la humedad relativa del mariposario entre 45% y 100%.
- El sistema deberá almacenar los datos de la temperatura y la humedad relativa en una memoria SD.

8.3.3. Selección de Componentes.

En esta sección se determinan los componentes a utilizar que cumplen con los requerimientos, de cada uno de los módulos.

8.3.3.1. Transductor de temperatura y humedad.

A continuación, se analizan las características de diferentes sensores, en cuanto a los requerimientos, para su implementación en el sistema de monitoreo y control. La información fue tomada de los datasheet de cada dispositivo.

Tabla 4 Selección transductor de temperatura y humedad

Sensor	Alimentación	Corriente	Rango medición	Precisión	Rango de operación	Higrómetro	Respuesta (seg)	Costo \$
DHT22	3.3-6V DC	1-1.5Ma	-40° -80 °C 0 a 100%RH	<±0.5 °C 2% RH	-40°C -80 °C 0-100%RH	Capacitivo-Resistivo	2	16.600
HMZ 433A1	5Vdc+5%	2-5mA	-20°-60°C 95%o menos	<±0.5 °C 5% RH	0-60°C 95%o menos	Capacitivo	5	15.000
DHT21 AM2301	3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 5.5Vdc	1-1.5mA	-40-80°C 0-100% RH	<±0.5 °C 3% RH	-40°C-80°C 0-100% RH	Capacitivo	5	19.500
SHT11 SHT71	2,4V a 5,5V	2,8mA	-40-123,8°C 0-100% RH	±0.4°C ±3%RH	-40°C-125°C 0-100%RH	Capacitivo	8	17.800
BMP280	1,8-3,3V DC	3,6uA	-40~80°C 0~100%	± 1 °C ±3% HR	-4~85°C 0~100%	Resistivo	1	18.500

Se seleccionaron y adquirieron los sensores DHT22 y BMP280, ya que son los que tienen mayor precisión de medición y menor tiempo de respuesta para la obtención de datos, además cumplen con los rangos de operación de los requerimientos. Los datos adquiridos por los sensores DHT22 y BMP280 se comparan con la adquisición de datos del sensor del CBIOS (datalogger Escort RH-iLog). En la sección 10.4. Comparación del sistema de monitoreo y control con el datalogger Escort RH-iLog, se muestra el proceso de análisis que condujo a la selección del sensor que finalmente se implementó (DHT22).

8.3.3.2. CPU.

En la tabla 5 se evidencia las características a tener en cuenta para la elección del microcontrolador y en la tabla 6 se encuentra la ponderación respectiva a cada característica del microcontrolador. La información fue tomada de los datasheet de cada dispositivo

Tabla 5. Características de microcontroladores

Microcontrolador	Pines	Lenguaje de programación	Voltaje de operación	Costo
Arduino Mega	54 Digitales E/S y 16 Análogos de entrada	Java - Arduino IDE	7-12 V	\$55.000
Arduino Uno	14 Digitales E/S y 6 Análogos de entrada	Java - Arduino IDE	7-12V	\$25.000
Wemos D1 mini	11 Digitales E/S	Java - Arduino IDE	3,3 V	\$28.000
MSP430G2 LaunchPad™ Development Kit	24 GPIO's	Java - Energía	1,8 - 3,3 V	\$60.000
PIC 18F4550	35 I/O	Assembler- Basic-C	4.2V a 5.5V	\$25.200

Tabla 6. Ponderación de las características de los microcontroladores.

	Arduino Mega	Arduino Uno	Wemos mini D1	MSP430G2 LaunchPad™ Development Kit	PIC 18F4550
Pines (20%)	5	3	2	3	5
Lenguaje de programación (30%)	5	5	5	5	2
Voltaje de operación (20%)	5	5	2	2	3
Costo (30%)	3	4	4	2	4
Ponderación	4,4	4,3	4,1	3,5	2,4

Se seleccionó el Arduino Mega, ya que es el microcontrolador con mayor puntaje en la ponderación y cumple con los requerimientos operacionales y características para la implementación del proyecto, puesto que tiene la mayor cantidad de pines que pueden ser utilizados en el futuro al incorporar nuevas funcionalidades al sistema desarrollado, igualmente cuenta con un entorno de programación sencillo de código abierto que ofrece un sistema de gestión de librerías y placas que facilitan la utilización de otros dispositivos.

La tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 bajo costo tiene 54 pines de entrada/salida, de los cuales exactamente 14 de ellos pueden ser utilizados como salidas de PWM (Modulación por ancho de pulso), cuenta con otras 16 entradas analógicas y 4 UARTs (puertos serial).

La comunicación con el computador requiere de un cable USB; este cable también sirve para su alimentación, de igual forma se puede alimentar con una fuente externa, sea un arreglo de baterías o un adaptador de alimentación (cargador).

Su programación se realiza con el software Arduino (IDE); además en el mercado se pueden encontrar diferentes módulos compatibles con esta tarjeta de desarrollo, lo que facilita la adquisición y montaje de los demás dispositivos.

La tarjeta procesa los datos adquiridos por el sensor DHT22, envía la señal de activación/desactivación al relay SSR40DA para activar o desactivar de los actuadores; además guarda los datos del monitoreo en el módulo SD.

8.3.3.3. Actuadores de temperatura.

A continuación, se presentan las especificaciones de los actuadores que el CBIOS puso a disposición para la implementación del sistema de control de la temperatura. La información fue tomada de los Manuales de usuario de cada dispositivo.

Calefactor T Kalley K-CA150T

Especificaciones

- Potencia Lo: 900W Hi:1500 W
- Voltaje 120 V, 60 Hz
- Corriente máxima continua 12.5 A
- Salida 5200 BTUs
- Dimensiones 21 x 58.5 x 15 (Ancho x Alto x Fondo) cm



Figura 18 Calefactor T Kalley K-CA150T

Calentador de ambiente K-CA18

Especificaciones

- Potencia Lo: 900W Hi:1500 W
- Voltaje 120 V, 60 Hz
- Salida 4000 BTUs
- Dimensiones 25 x 15 x 25(Ancho x Alto x Fondo) cm



Figura 19 Calentador de ambiente K-CA18

Para el sistema de control de la temperatura se utiliza un relay de estado sólido SSR40DA, dispositivo que activa o desactiva el calefactor cuando la temperatura del ambiente se desfasa de los rangos determinados (10°C - 20°C).

8.3.3.4. Registro y Monitoreo.

Para la visualización y registro de los datos adquiridos durante el monitoreo de la temperatura y humedad relativa, se utilizó una pantalla LCD y un módulo de tarjeta SD Card Adapter que guarda los datos cada 10 minutos bajo la extensión TXT (Bloc de notas). Así mismo, se incorporó un módulo RTC DS3231 que permite mantener el valor del tiempo (Fecha-Hora) en caso de perder la alimentación.

8.4. Comparación de las señales del RH-iLog y las señales del sistema de monitoreo y control.

Previo a la ejecución de este proyecto, el Laboratorio contaba con un sensor comercial *Escort RH iLog* (Figura 20), monitor de temperatura y humedad relativa, sin capacidad de actuación, ése sensor fue el referente para validar el sistema de monitoreo desarrollado en este proyecto. En la siguiente tabla, se describen las características del RH-iLog y se eligen aquellas que se tuvieron en cuenta para el diseño del sistema de monitoreo.

Tabla 7 Características RH-iLog

Características RH-iLog	Sistema de Monitoreo
Programable (5 seg-10 días)	SI
Capacidad de memoria de 16032 lecturas	SI
LCD	SI
Alarmas visibles y audibles	NO
Precisión en la medida ≤ 0.35 °C.	NO
Alimentación con batería SAFT 3.6 volt $\frac{1}{2}$ AA	NO
Exportación de datos en TXT, CSV, SYLK y LCF.	SI



Figura 20 Sensor comercial- Escort RH-iLog (Tomado de: cryopak)

Para el sistema de monitoreo y control se seleccionaron los sensores DHT22 y BMP280 (Tabla 4) y se utilizó con un módulo SD de Arduino para almacenar los datos adquiridos durante el monitoreo.

Los tres sensores se programaron para adquirir datos y guardar las lecturas cada 10 minutos en sus memorias correspondientes durante dos semanas, para su posterior descarga y análisis de varianza (Anova) y un test de comparación múltiple en el software de Matlab y su vez se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos.

La función de Matlab empleada para el análisis de la varianza Anova fue: `[p,t,stats]=anova1 (x, sensores)` y la función utilizada para el test de comparación múltiple fue: `c= multcompare (stats)`.

Los sensores estuvieron en una misma locación, con el fin de asegurar que median las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa (Figura 21).



Figura 21 Montaje del monitoreo los sensores Rh-iLog, DHT22 y BMP280. (Autor)

9. Implementación y Pruebas

En esta sección se exhibe la implementación y pruebas de la propuesta del presente proyecto. La implementación del sistema se llevó a cabo con cada módulo (transductores, CPU y actuadores) con el fin de comprobar su funcionamiento individual.

Inicialmente se procede con la instalación de la acometida eléctrica dimensionada para manejar la carga de consumo eléctrico del calefactor y los componentes del sistema de monitoreo y control. Se realizó una derivación desde el tablero eléctrico de un invernadero de astromelias cercano; primero, se adecuó una toma eléctrica dentro del mariposario para realizar las pruebas del sistema de monitoreo y control. Para la entrega del proyecto se instaló un tablero electrónico Luminex con cuatro disyuntores eléctricos; de los cuales, se usó uno de 20A para la alimentación del calefactor y el sistema de monitoreo y control.

El sistema de monitoreo y registro inicialmente se configuró en el Laboratorio de entomología (Figura 22), después de probar que almacenaba los datos adquiridos cada 10 minutos (Figura 23), se prosiguió a instalarlo en el mariposario junto con el RH-iLog para realizar el respectivo análisis de la adquisición de datos entre los sensores, el cual se encuentra en la sección 10.4. Comparación del sistema de monitoreo y control con el datalogger Escort RH-iLog

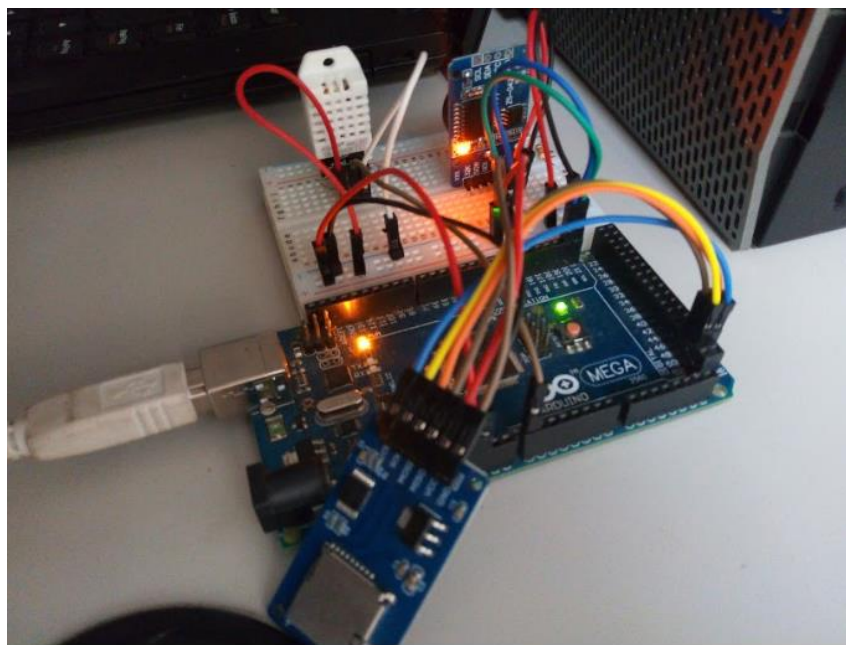


Figura 22 Montaje del sistema de monitoreo y almacenamiento de los datos de temperatura, humedad relativa. (Autor)

 DATALOG-25-10--2-10: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Programo: Darlin Sanchez

2018/10/25/12:10:23	Humedad: 90.40	Temperatura C: 22.50
2018/10/25/12:20:24	Humedad: 92.00	Temperatura C: 21.90
2018/10/25/12:30:24	Humedad: 92.40	Temperatura C: 21.60
2018/10/25/12:40:24	Humedad: 93.10	Temperatura C: 21.10
2018/10/25/12:50:24	Humedad: 93.30	Temperatura C: 20.40
2018/10/25/13:0:24	Humedad: 93.90	Temperatura C: 19.60
2018/10/25/13:10:25	Humedad: 94.20	Temperatura C: 19.00
2018/10/25/13:20:25	Humedad: 94.60	Temperatura C: 18.50
2018/10/25/13:30:25	Humedad: 95.00	Temperatura C: 18.10
2018/10/25/13:40:25	Humedad: 95.70	Temperatura C: 17.70
2018/10/25/13:50:25	Humedad: 95.90	Temperatura C: 17.50
2018/10/25/14:0:26	Humedad: 96.20	Temperatura C: 17.30
2018/10/25/14:10:26	Humedad: 96.70	Temperatura C: 17.20
2018/10/25/14:20:26	Humedad: 96.90	Temperatura C: 17.10
2018/10/25/14:30:26	Humedad: 96.70	Temperatura C: 16.90
2018/10/25/14:40:26	Humedad: 96.80	Temperatura C: 16.70
2018/10/25/14:50:27	Humedad: 96.90	Temperatura C: 16.60
2018/10/25/15:0:27	Humedad: 96.90	Temperatura C: 16.40
2018/10/25/15:10:27	Humedad: 97.00	Temperatura C: 16.30
2018/10/25/15:20:27	Humedad: 96.70	Temperatura C: 16.10
2018/10/25/15:30:27	Humedad: 96.70	Temperatura C: 15.90

Figura 23 Visualización de los datos registrados en el TXT (Autor)

Después de establecer la correcta adquisición de datos en el monitoreo, se probaron los calefactores mencionados en la sección 8.3.3.3. Actuadores de temperatura, con el fin de seleccionar el que sería implementado en el sistema de control de temperatura. Para probar el funcionamiento del sistema de control, éste se conectó a cada uno de los calefactores. Las pruebas mostraron que el sistema apaga el calefactor T Kalley K-CA150T, pero no puede encenderlo, debido a las funciones programables internas de dicho calefactor, lo que hace que después de su apagado, requiera obturar el botón de encendido y apagado que tienen en el panel de control para que vuelva a funcionar. Por otra parte, el calefactor K-CA18 al carecer de una capacidad de programación interna, respondió a lo esperado por los comandos del sistema de control. En consecuencia, se decidió utilizar el calefactor K-CA18, el cual, se configuró en su máxima potencia para su funcionamiento dentro del mariposario.

Sin embargo, el calefactor no fue suficiente para mantener la temperatura sobre los 10°C durante las noches (Grafico 1), por ello, se realizaron modificaciones estructurales al mariposario, con el fin de conservar la temperatura dentro del recinto. El detalle de las modificaciones realizadas y su justificación se encuentra en la sección 10.1. Diseño e Implementación de la Estructura del Mariposario y el análisis del sistema de control final

de temperatura se detalla en la sección 10.3. Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura.

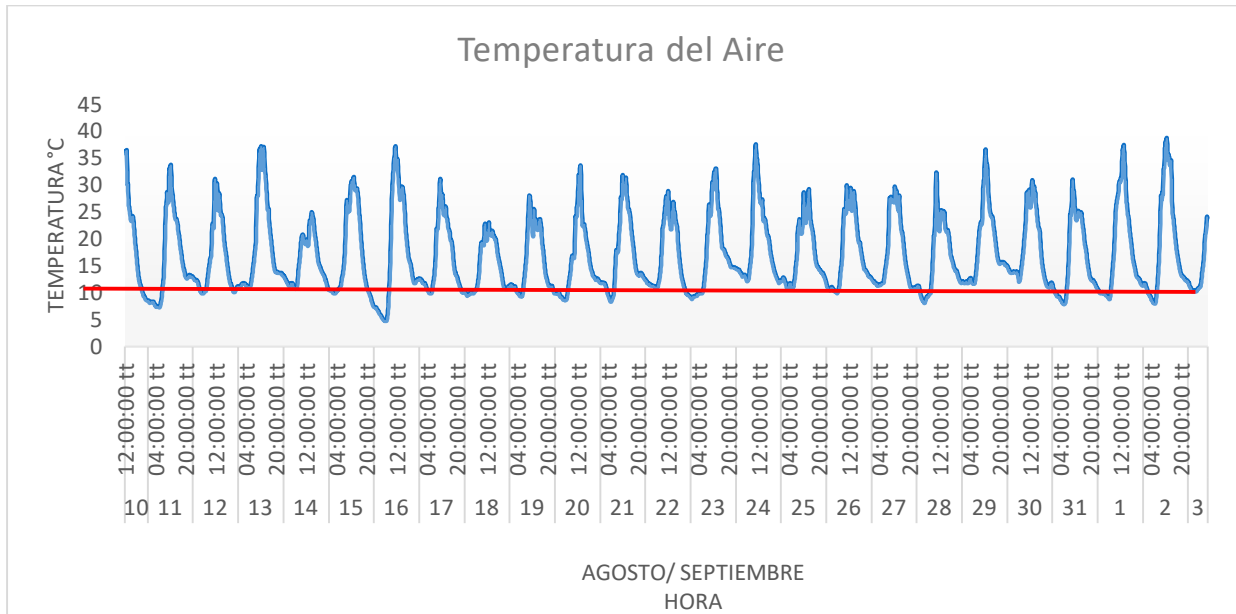


Grafico 1. Temperatura del mariposario al incorporar el calefactor



Figura 24. Montaje del monitoreo y control de temperatura (Autor)

10. Resultados y Discusión

10.1. Diseño e Implementación de la Estructura del Mariposario

Los mariposario deben tener al menos 20 m² en tamaño y 2,30 m de alto, el recinto debe ser de preferencia largo y estrecho. El mariposario del CBIOS cuenta con un área 24,6 m², como se aprecia en la figura 25, el mariposario es más largo que ancho; ya que las mariposas están más cómodas en espacios largos y estrechos (Initiative, 2006). Esto también se puede evidenciar en los mariposarios del Corredor Awacachi, de Ecuador, el cual cuenta con un cubil de vuelo 2,50 m x 8 m; La finca el Retorno ubicada en la Mesa, Cundinamarca donde adecuó un invernadero de 11 m de largo y 4 m de ancho para la cría de *A. monuste* y *L. aripa*; así mismo, el mariposario desarrollado por Alfonso y Piracón en el Colegio José Antonio Galán IED, ubicado en la localidad séptima (Bosa) de Bogotá, tuvo aproximadamente 7,3 m² de superficie y 3 m de altura, su estructura era tipo invernadero para establecer la cría de *C. telamonius*.

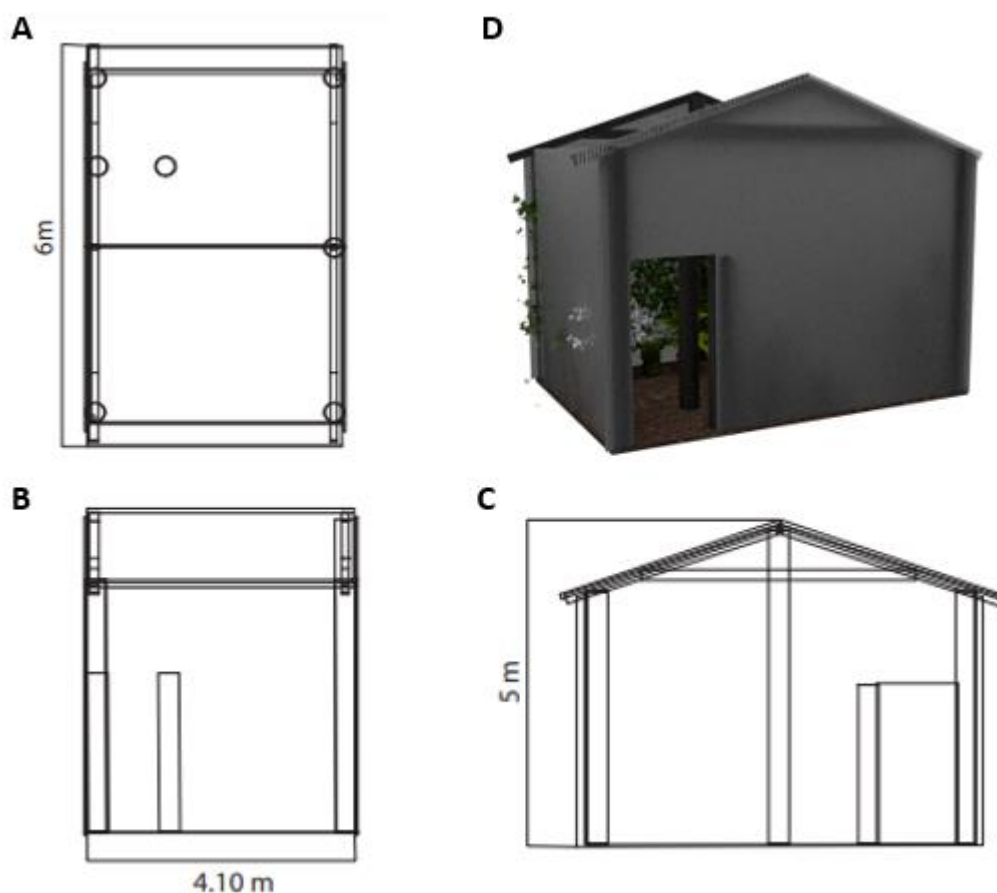


Figura 25 Planos del mariposario. A) Vista superior, B) Vista frontal, C) Vista lateral, D) Render vista exterior. (Autor)

En la figura 26 se aprecia la visión inicial que se tenía del mariposario terminado, sin embargo, la distribución del material vegetal se dio de manera diferente (figura 27); así mismo la estructura externa se tuvo que modificar por las altas temperaturas (40°C) que se registraron en el monitoreo de un mes durante las primeras horas de la tarde, para ello se instalaron dos ventanas enrollables brindando al mariposario ventilación lateral natural (figura 29). Por las bajas temperaturas (4°C) se instaló una pantalla térmica que permitía conservar el calor (Figura 30).



Figura 26 Renders del mariposario. A) Vista frontal, B) Vista superior, C) Vista anterior, D) Vista lateral (Autor)

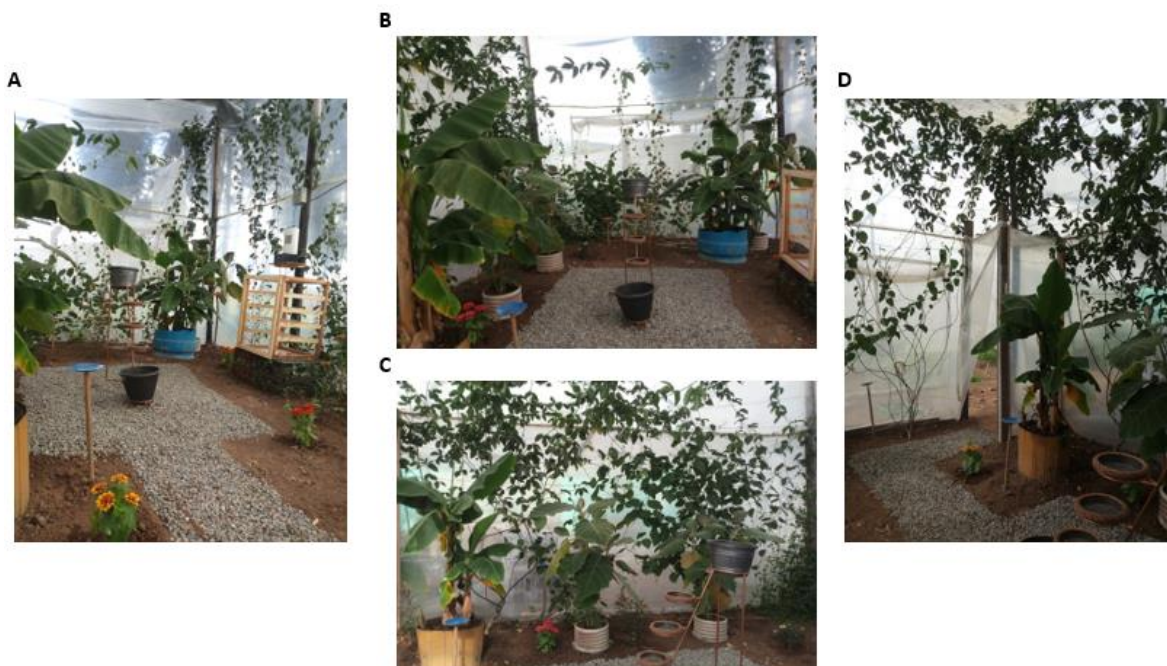


Figura 27. Mariposario A) Vista interna del mariposario B) Vista Frontal C) Vista lateral D) Vista interior del sistema doble puerta (Autor)

Basados en el diseño final, el mariposario se cubrió y selló con plástico transparente calibre seis (6), el cual también fue usado para el sistema de doble puerta de la entrada al recinto (figura 26). Se instaló una polisombra blanca de 80% de cobertura de luz solar y una pantalla térmica bajo la polisombra; además se adecuaron dos ventanas enrollables de 1,45m X 2,78m; una anterior y la otra posterior al mariposario.



Figura 28 Sistema de doble puerta del mariposario. A. Vista exterior. B. Vista interior (Autor)

Los materiales utilizados y las adecuaciones realizadas contribuyeron a mantener las condiciones ambientales dentro del mariposario. A continuación, se describe el aporte de cada uno:

- La polisombra blanca aporta luz solar de mayor calidad, ayuda a proteger las plantas y mariposas de la radiación solar directa, previene la deshidratación y el deterioro de las alas de las mariposas durante su vuelo y aumenta un poco la temperatura, ya que refleja el calor proporcionado por irradiación (Initiative, 2006).
- Al sellar el mariposario con plástico se logró conservar la temperatura a 10 °C durante las noches; sin embargo, durante las primeras horas de la tarde la temperatura llegó hasta los 40 °C.
- Las ventanas enrollables le brindan al mariposario ventilación lateral natural, lo que permite el intercambio de aire de forma natural por efecto del viento exterior y por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del recinto (figura 29B). Esta adecuación permitió disminuir la temperatura del límite superior en 5°C.
- El sistema de doble puerta (Figura 28) evita el escape de las mariposas, en vista de que éstas tienen mayor actividad cuando hace sol (Acuris, 2012), y el ingreso de aves y roedores que puedan atacar las mariposas y/o plantas del recinto (Initiative, 2006). Este sistema forma un pequeño cuarto de aislamiento que separa el exterior con el mariposario, y cuya función es mantener los organismos que ingresaron por la puerta, en dicho cuarto.
- La pantalla térmica (figura 30) mantiene la temperatura durante las noches, ya que permite el aumento de la temperatura mínima nocturna en el interior del recinto, así mismo disminuye la transpiración nocturna de las plantas y como consecuencia, se reduce el calor consumido por evapotranspiración (IMA, 2018).



Figura 29 Vista exterior del zoocriadero de lepidópteros A) sin Ventilación lateral natural, B) con Ventilación lateral natural. (Autor)

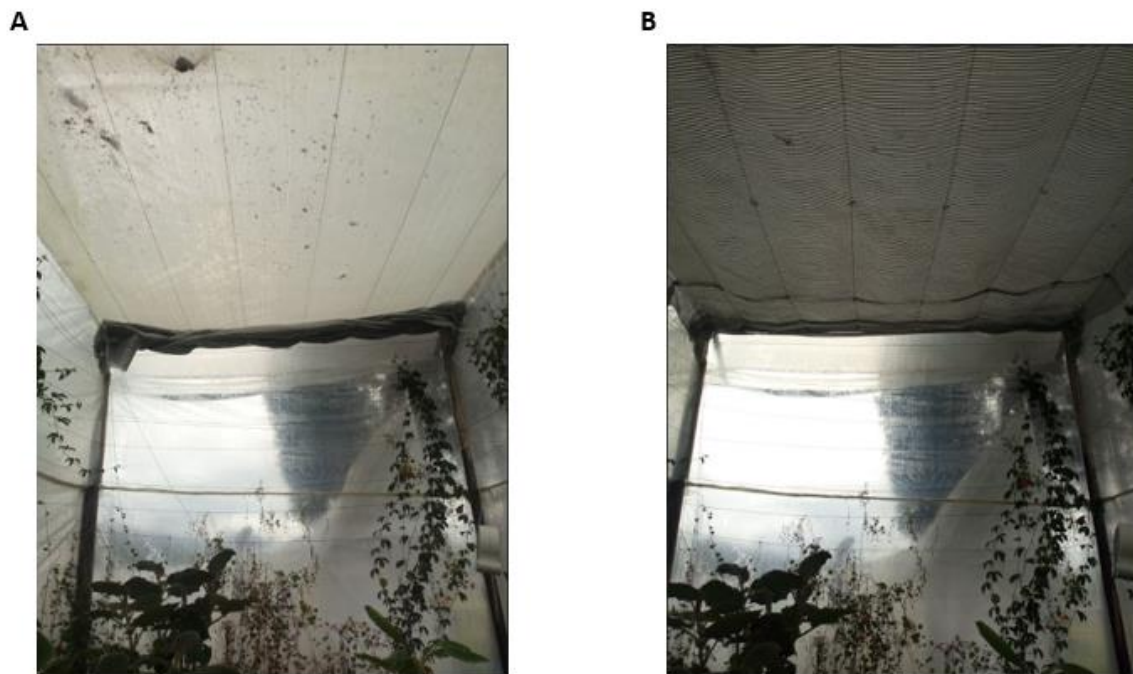


Figura 30 Pantalla térmica A) Pantalla térmica abierta, B) Pantalla térmica cerrada. (Autor)

10.2. Adecuación Interna del Mariposario

El zoocriadero debe suplir todos los requerimientos para la supervivencia de las mariposas; además de ser un espacio seguro y agradable para los visitantes y promover el agroturismo.

10.2.1. Producción del material vegetal.

La polisombra negra ubicada en el vivero ayudó a reducir la transmisión de radiaciones solares, disminuir la aparición de arvenses y generar una sombra natural similar a la que producen los árboles, absorbiendo el exceso de calor.

Las especies y el número de individuos que se mantuvieron en el vivero y se trasplantaron al mariposario se relacionan en la tabla 8.

Tabla 8 . Material Vegetal del zoocriadero de lepidópteros

Nombre común	Nombre científico	# de individuos plantados	Fecha de trasplante
Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i>	5	20/06/2018
Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	5	20/06/2018
Lulo	<i>Solanum quitoense</i>	5	20/06/2018
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	7	20/06/2018

Capuchina	<i>Tropaeolum majus</i>	2	20/06/2018
Algodoncillo	<i>Asclepias curassavica</i>	5	25/04/2019
Mazorquilla	<i>Senna alata</i>	5	25/04/2019
Lantana	<i>Lantana</i> sp.	1	25/04/2019

En la figura 31 se aprecia claramente el desarrollo fenológico de las plantas de lulo. La figura 31A presenta el crecimiento de las plantas a los tres meses del trasplante en el recinto (plantas en estado vegetativo); la figura 31B muestra el crecimiento de las plantas pasados cinco meses (estado de floración); y la figura 31C exhibe las plantas de lulo en estado de fructificación, momento en el cual los frutos están listos para ser cosechados. La cosecha de lulo se da generalmente a los ocho (8) meses después de la siembra en la fase de maduración, momento en el cual la tasa de crecimiento de la planta disminuye (Ochoa *et al.*, 2016). Esto confirma, que las condiciones ambientales del mariposario permite el desarrollo fenológico adecuado de la planta, a pesar de existir una variación en la temperatura y la humedad relativa, puesto que las condiciones óptimas requeridas por esta solanácea son de 18°C a 22°C de temperatura y humedad relativa promedio de 80% (López, 2016).



Figura 31 . Plantas de lulo. A) Crecimiento del material vegetal a los 3 meses, B) Crecimiento del material vegetal a los 5 meses. (Autor)

En la figura 32 se evidencia la densidad vegetal de la planta de maracuyá, la cosecha de ésta inicia entre los ocho y diez meses (Amaya, 2009), sin embargo, las plantas del mariposario no dieron frutos ni florecieron, debido a las condiciones climatológicas a las que están expuestas (10°C y 35°C). Éstas plantas se desarrollan con temperaturas entre los 24°C y 28°C, cuando la temperatura se encuentra por encima de ese rango, el desarrollo vegetativo es acelerado (Figura 32C), se restringe la producción de flores, y se reduce el número de botones florales. Mientras las bajas temperaturas reducen el número de frutos (Amaya, 2009), sin embargo, la función principal de esta planta es ser hospedera para las especies pertenecientes de la subfamilia Heliconiinae (Vega, 2010), por esta razón el futuro desarrollo de las mariposas no se verá afectada por la falta de flores en las plantas.

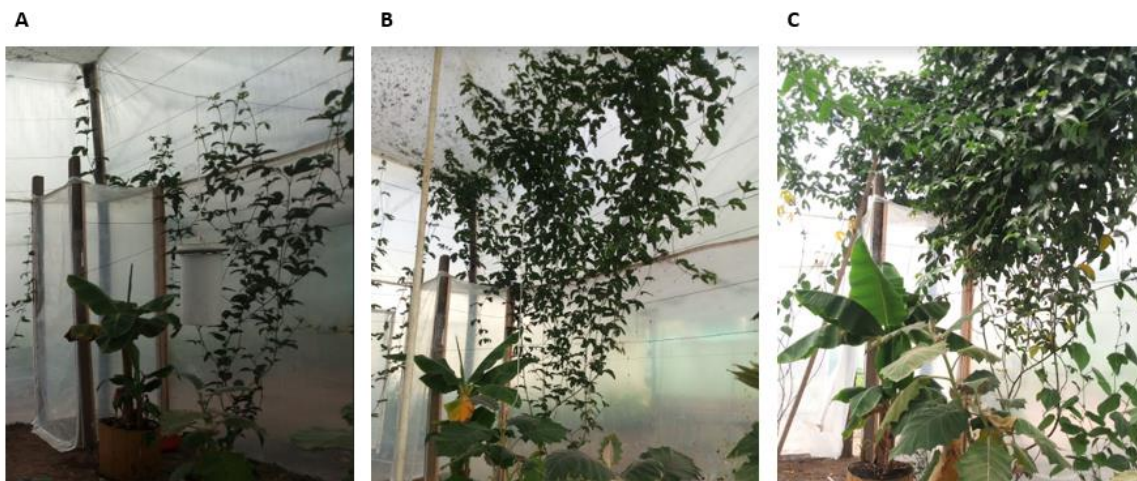


Figura 32 Crecimiento de la planta de maracuyá. A. dos meses de trasplantada. B. seis meses de trasplantada. C. nueve meses de trasplantada (Autor)

La granadilla es una especie vegetal semiperenne, ésta se desarrolla adecuadamente en temperaturas que oscilan entre 16°C y 24°C con un óptimo entre 16°C y 18°C. (Cerdas, M., & Castro, J. 2003). En la figura 33 se hace evidente que la granadilla es la planta con el menor crecimiento, las bajas temperaturas pueden disminuir su crecimiento y producción, mientras las altas temperaturas pueden generar un mayor estrés hídrico e incrementar los requerimientos nutricionales (DANE, 2016), limitando el desarrollo de la planta en sus estados de floración y fructificación, a pesar de esto, no es un obstáculo para el desarrollo de las mariposas, puesto que la principal función de esta planta es ser hospedera para las especies de la subfamilia Heliconiinae (Vega, 2010).



Figura 33. Planta de granadilla. A) Crecimiento a los tres meses de trasplantado al mariposario. B) Crecimiento a los ocho meses de trasplantado al mariposario (Autor)

La temperatura es un factor determinante en el crecimiento y desarrollo de la planta de plátano, afectando directamente el ciclo vegetativo, su actividad metabólica y respiratoria. En Colombia las temperaturas entre 18°C y 38°C, se consideran aptas para la siembra de plátano, siempre y cuando la temperatura mínima no sea inferior a 15°C y las mínimas absolutas no estén por debajo de 8°C. A medida que la temperatura disminuye, la actividad metabólica es lenta y retarda la emisión foliar, por ende, la

actividad vegetativa se reduce, retardando la frecuencia de producción de hojas, el ritmo de brotación de “hijos” y el desarrollo de los racimos (Barrera *et al.*, 2011). Este retraso se aprecia en la figura 34, donde se puede observar que la planta no tiene la emisión de hojas normales (38 ± 2), su tasa de emisión es menor, debido a que se encuentran en macetas y por las condiciones ambientales del mariposario. Esto se debe a la diferencia en las condiciones expuestas en las zonas productoras como el Caribe húmedo y el eje cafetero. En el Caribe, el follaje es emitido a un ritmo de una hoja cada siete días, mientras que en la zona cafetera cada hoja es emitida a los 9,12 días (Barrera *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta el número de plantas de plátano (7) alojados en el mariposario, su densidad vegetal actual y el consumo foliar promedio $795,12 \text{ cm}^2$ de las larvas *Caligo* sp. (Alfonso & Piracón, 2016), se cubre la demanda alimenticia de aproximadamente cinco larvas. Puesto que, la disponibilidad de alimento es clave para el desarrollo de los individuos; por consiguiente, se pueden presentar problemas asociados con la malnutrición de los individuos, como dificultades en el proceso de muda durante el cambio de estadio larval y algunas muertes por malformación en pupa y adulto (Hernández, 2014). Esto evidencia la importancia de tener una producción constante de esta planta hospedera, con el fin de mantener una densidad vegetal considerable y suplir las necesidades nutricionales de las especies de la subfamilia Morphinae (Vega, 2010).



Figura 34 Planta de Plátano. A. tres meses de depositada en el mariposario. B. diez meses de situada en el mariposario (Autor)

El material vegetal restante fue introducido al mariposario después de 10 meses de su construcción, debido a que son plantas ornamentales duraderas, originarias de América tropical, caracterizadas por su resistencia y no requerir mayor tiempo para adaptarse a un nuevo entorno. *Senna* sp. es la excepción a la anterior afirmación, ésta planta es de rápido crecimiento y corta duración, es susceptible a daños por heladas y se desarrolla adecuadamente con temperaturas entre 21°C a 28°C, sin embargo, es capaz de soportar temperaturas máximas promedio de 23°C a 35°C durante los meses más calientes y temperaturas mínimas promedio de 13°C a 24°C durante los meses más fríos (Parrota & Francis, 1990). Ésta al ser una planta hospedera de corta duración, no es recomendable sembrarla con demasiado tiempo de anticipación a la llegada de los individuos de *Phoebis sennaer*, especie con la cual el Laboratorio pretende iniciar las pruebas de cría, a la par con *Danaus plexippus* especie que utiliza la *Asclepia* sp. como hospedera, la cual puede soportar heladas dependiendo la especie, como es, el caso de *Asclepia currasavica*, que no soporta temperaturas inferiores a los 5°C, el rango ideal para su crecimiento está entre los 25° a 30°C (Bautista *et al.*, 2018).

En el mariposario se introdujeron cinco plantas juveniles de *A. currasavica*, en su estado actual, éstas tienen la capacidad de proporcionar alimento para aproximadamente seis individuos de *D. plexippus* los cuales requieren de 12 hojas de 10cm² para sus tres primeros instares larvales, 18 hojas de 14cm² para su instar IV y 30 hojas de 25cm² para el instar V (García, 2014). Sin embargo esta planta en su estado adulto puede alcanzar al metro de altura y sus hojas tienen una longitud de hasta 18 cm, por lo cual se podrían incorporar más individuos al mariposario, ya que, la planta al generar más hojas, aumenta la oferta de alimento para las especies de la subfamilia Danainae.

10.2.2. Ambientación y adecuación estética interna del mariposario.

El visitante al ingresar al mariposario podrá apreciar una fuente de agua (Figura 35A) que mejora el porcentaje de humedad generando así, un ambiente cómodo, tranquilo y relajante, el visitante seguirá por un sendero realizado con láminas de plástico (Figura 35B) y piedra (Figura 35C), para que compartan el hábitat con las mariposas, recorran su espacio y observen su belleza, sus comportamientos reproductivos y alimenticios gracias a las plantas hospederas en las cuales la hembra pondrá los huevos y comerán las orugas, las plantas nectaríferas que atraen a los machos para el apareamiento y los comederos de frutas y bebederos de néctar, con el fin de conseguir una armonía estética dentro del recinto.

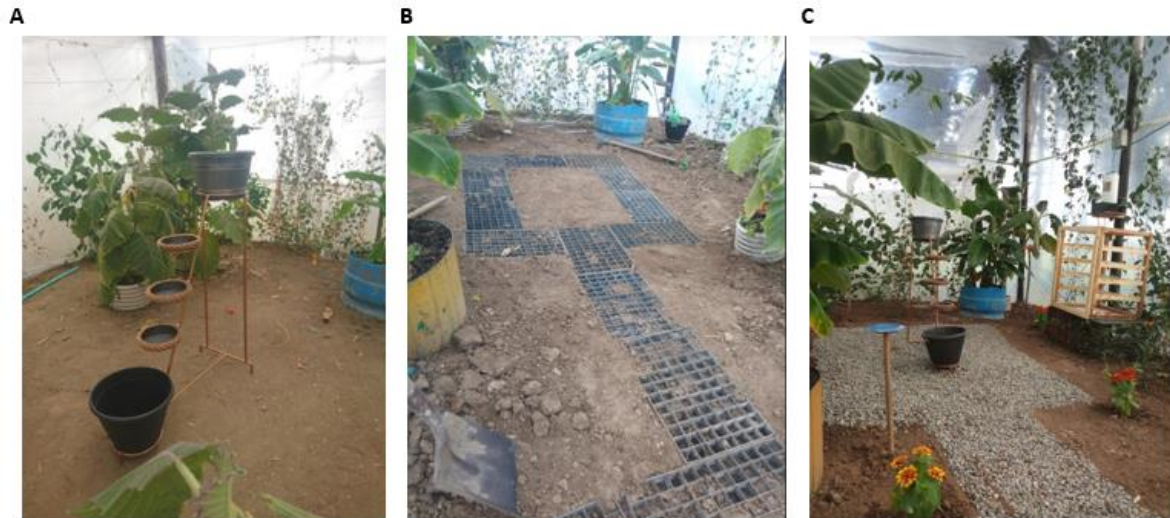


Figura 35 . Adecuación estética del mariposario. A) Fuente de agua B) Base del sendero C) Mariposario terminado (Autor)

10.3. Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa y control de temperatura

El sistema de monitoreo y control se instaló dentro del mariposario; la implementación del sistema se llevó a cabo con cada módulo (transductores, CPU y actuadores) con el fin de comprobar su funcionamiento individual.

El sistema de control de temperatura consta de un calefactor y una pantalla térmica para evitar las bajas temperaturas de la noche y la madrugada, además de dos ventanas enrollables (Figura 27B) que le proporcionan al mariposario ventilación lateral natural y permiten la renovación de aire en su interior.

El grafico 2 presenta el comportamiento de la temperatura al implementar el sistema de monitoreo y control de esta variable. Como se puede observar, durante las primeras horas de la tarde cuando se presentan las temperaturas máximas del día (11:00 am-2:00 pm), la temperatura no sobrepasó el límite de los 35°C. Las temperaturas mínimas se registran entre (11:00 pm-5:00 am), momento en el cual, el calefactor no permite que esta descienda de los 10°C (Alfonso & Piracón, 2016). Con base en lo anterior, se puede confirmar que el sistema funcione adecuadamente al cumplir los requerimientos funcionales del proyecto.

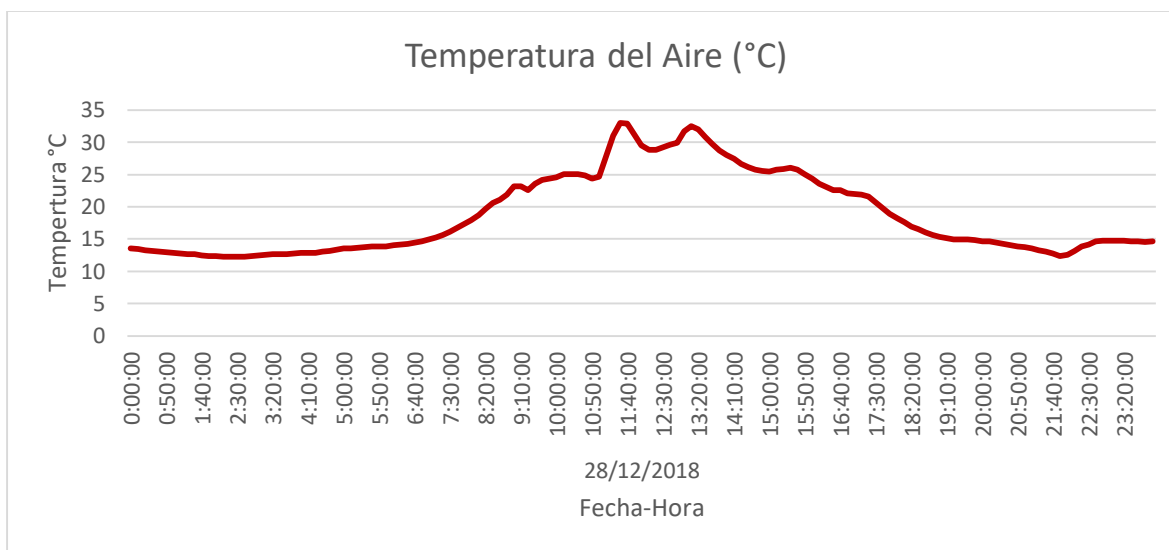


Grafico 2 Monitoreo de un día de la temperatura con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor)

En el grafico 3 se puede evidenciar el aumento de la temperatura durante el martes 22 de enero, superando el límite 35°C; este aumento se produjo al no abrir las ventanas a la hora estipulada en el *11.2. Protocolo general para el manejo del mariposario*. Los dos siguientes días se aprecia la disminución de la temperatura en el mismo rango de tiempo, entre las 9:40 am y 2:00 pm al abrir las ventanas a las 9:00 am como lo estipula el protocolo. Esta situación evidencia la importancia de la ventilación lateral y de cumplir con lo indicado en dicho documento.

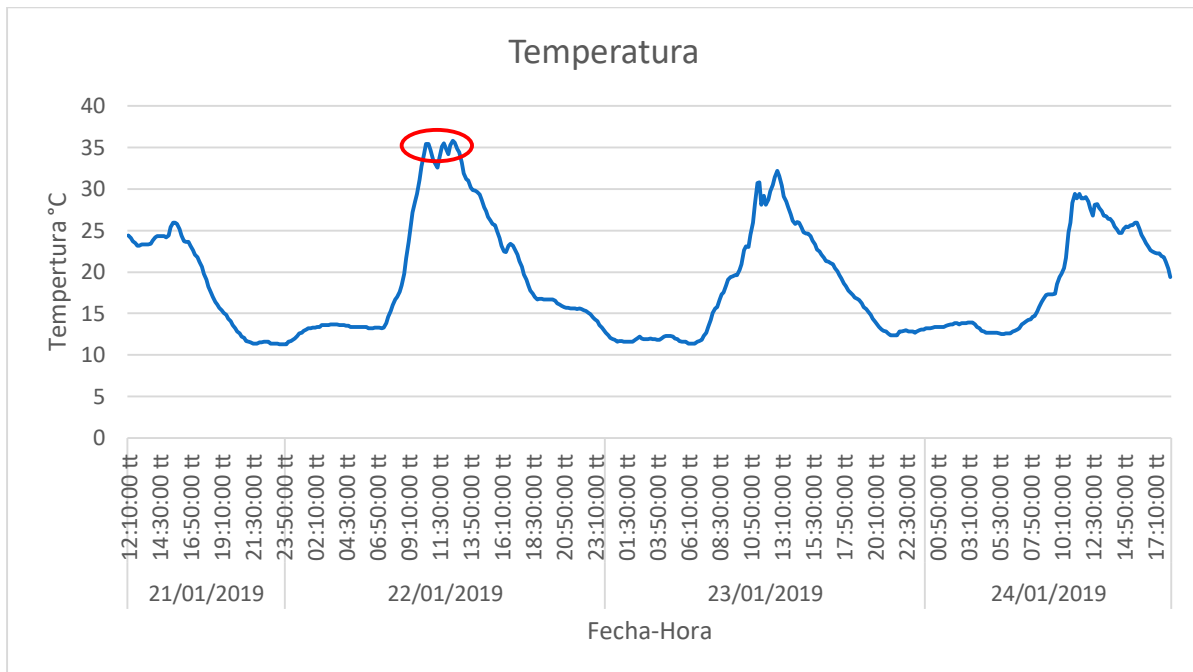


Grafico 3 Monitoreo de la temperatura durante cuatro días con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor)

El grafico 4 evidencia el aumento del porcentaje de la humedad al 100% durante aproximadamente 12 horas entre las 10:00 pm y 10:00 am, esto indica que el aire del recinto no puede albergar más agua, es decir, el aire está saturado, entonces el agua se condensa en forma líquida en diferentes superficies como las hojas y flores de las plantas; asimismo se logra ver como se empañan las paredes de plástico del mariposario y al mismo tiempo, se puede presentar un ambiente de niebla dentro del recinto. Este fenómeno se relaciona con el concepto de temperatura de rocío, lo cual ocurre cuando la cantidad de agua en el ambiente es constante y se da una disminución de la temperatura, llega un punto en el que la humedad alcanza el 100%. Dentro del mariposario se obtiene el punto de rocío cuando la temperatura desciende entre los 11°C y 15°C (Grafico 5) (Pinazo, 2009).

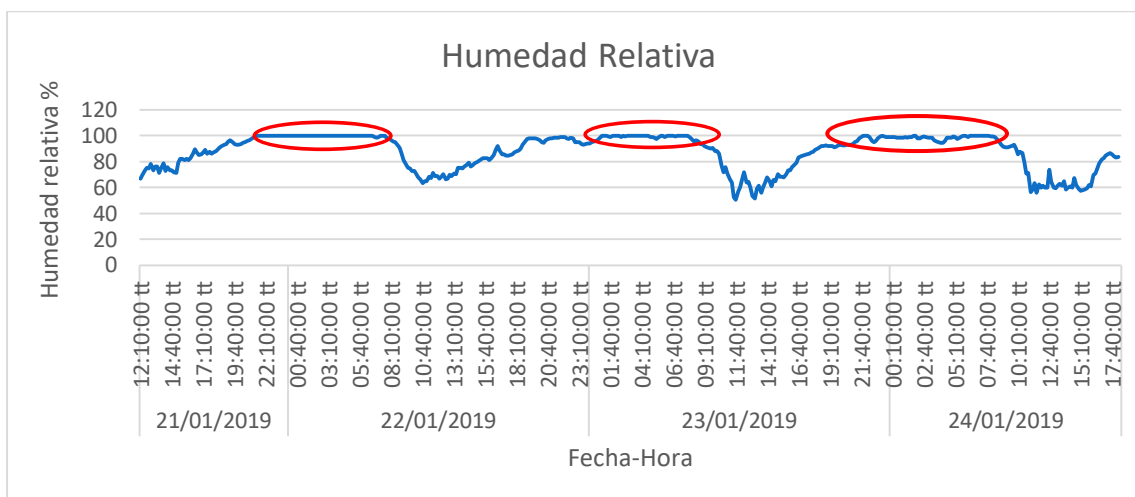


Grafico 4 Monitoreo de la humedad relativa durante cuatro días con implementación del calefactor, las ventanas enrollables y pantalla térmica (Autor)

El grafico 5 demuestra la relación de proporcionalidad inversa entre la temperatura y la humedad relativa; ya que, si la humedad del aire permanece constante y la temperatura desciende, la humedad relativa aumenta, esto quiere decir que, al disminuir la temperatura del aire, disminuye su capacidad de contener vapor de agua. Esta situación se evidencia durante altas horas de la noche y la madrugada, durante este periodo de tiempo se llega al punto de saturación e inicia la condensación del vapor de agua dentro del mariposario. Por el contrario, si la temperatura del aire aumenta y el contenido de humedad permanece constante, la humedad relativa disminuye, es decir, tiene mayor capacidad de contener vapor de agua (Pinazo, 2009). El ambiente dentro del mariposario tiene mayor capacidad de contener agua durante las primeras horas de la tarde, momento en el que se presentan los picos de temperatura máxima 35°C y los picos de humedad relativa mínima 50%.

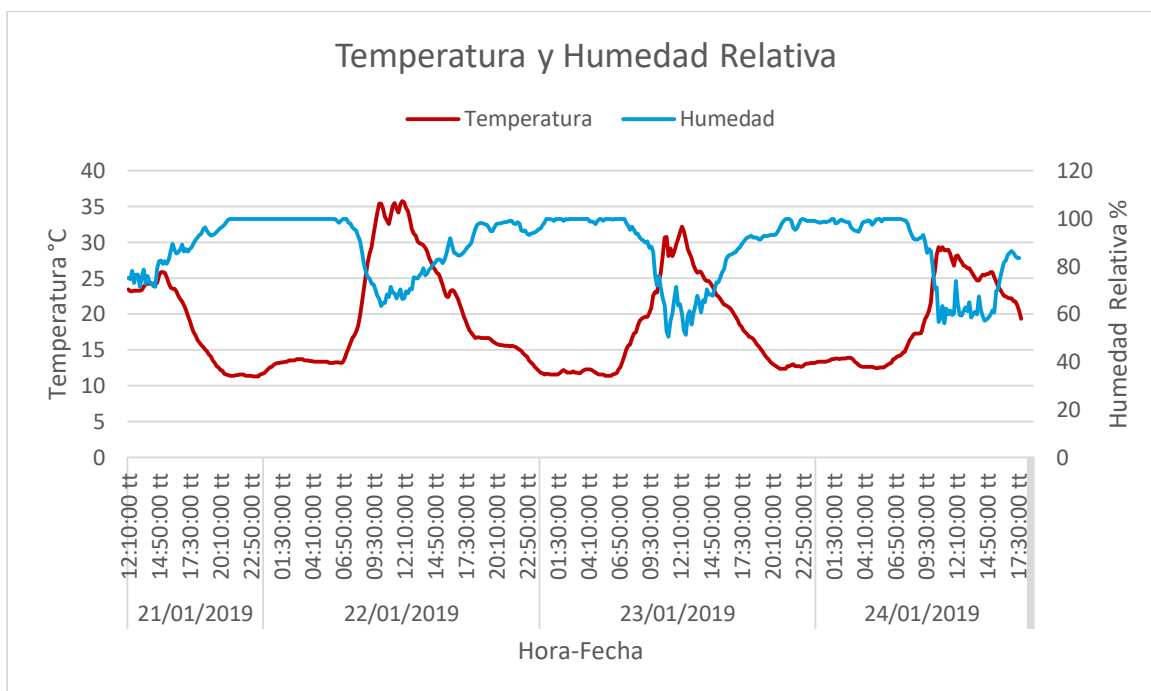


Grafico 5 Relación entre el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa (Autor)

Comparados con la casa malla de Alfonso y Piracón (2016), los rangos de temperatura y humedad relativa obtenidos en este proyecto son mayores, a pesar de que ambos se construyeron en el CBIOS. Esto puede deberse a varios factores como: las dimensiones del mariposario, los materiales de construcción y su ubicación en las instalaciones del Centro. La casa malla localizó dentro del invernadero del semillero del CBIOS; mientras, el mariposario del presente proyecto se construyó en un cuarto de la huerta agroecológica.

Las dimensiones del mariposario determinan la cantidad de energía que se requiere para conservar la temperatura y la humedad que necesitan las mariposas dentro de los zocriaderos. El mariposario de la huerta desarrollado en este trabajo, tiene el doble de altura y aproximadamente 9m² más de superficie que la casa malla. Por esta razón éste mariposario requirió aparte de materiales que permiten conservar la temperatura, un sistema de calefacción durante las noches.

La ubicación de los mariposarios determinó las condiciones ambientales en las cuales estos estuvieron expuestos, por ende, los materiales de construcción para mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad fueron distintos. Dentro del semillero, donde se ubicaba la casa malla había protección de las bajas temperaturas en la madrugada y de las altas temperaturas del medio día, debido al sistema de ventilación del Semillero, por ende, utilizaron velos y polisombras, con el fin, de conservar las condiciones adecuadas para la cría de *C. telamonius*. Por el contrario, el mariposario de la huerta, no contaba con esa protección, por ende, su estructura se forro con plástico, para mantener la temperatura; sin embargo, se limitó la ventilación y el intercambio de aire, como consecuencia, la temperatura llegó hasta 40°C, lo que nos llevó a construir ventanas para brindarle al mariposario ventilación lateral natural.

10.4. Comparación del sistema de monitoreo y control con el datalogger Escort RH-iLog

La adquisición de los datos a comparar entre los tres sensores se realizó cada 10 minutos, durante cuatro días. Los gráficos 6 y 7 corresponden a la representación de la temperatura y humedad relativa respectivamente en función del tiempo, estas apoyan el proceso de selección del sensor idóneo para el sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa. En el anexo 6 se encuentran los datos adquiridos por los tres sensores para realizar el análisis entre ellos.

Para el proyecto se decidió continuar trabajando con el DHT22, ya que tiene un porcentaje de error menor en comparación con el BMP280 y los valores adquiridos por el DHT22 tienen mayor similitud con el RH-iLog, teniendo una diferencia de 0,2 en su media (Tabla 9). Además, la prueba de comparación múltiple arroja que el sensor que tiene datos significativamente diferentes (p -valor: $5,39979e^{-22}$) al Rh-iLog es el BMP280 (Gráfico 8), lo cual ratifica la decisión de escoger el sensor DHT22.

Tabla 9 Datos estadísticos descriptivos de los tres sensores analizados

	Sensor RH iLog	DTH22	BMP280
Desviación estándar	4,7 °C	4,5 °C	4,6 °C
Media	18,4°C	18,2°C	20,7°C
T máx	32,9°C	32,3 °C	35 °C
T mín	14,3°C	14,2 °C	16.5 °C
Error Típico	---	0,90	1,7
Error Porcentual	---	3,3 %	13,8 %

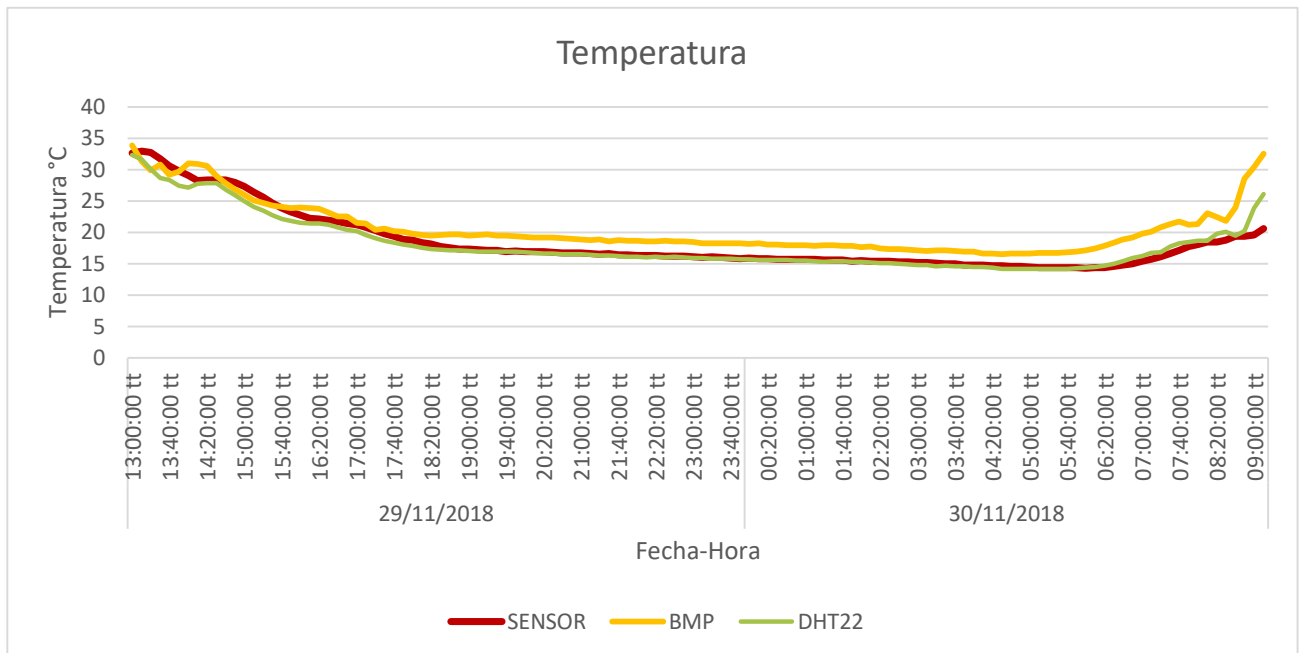


Grafico 6 Monitoreo de temperatura con los transductores seleccionados

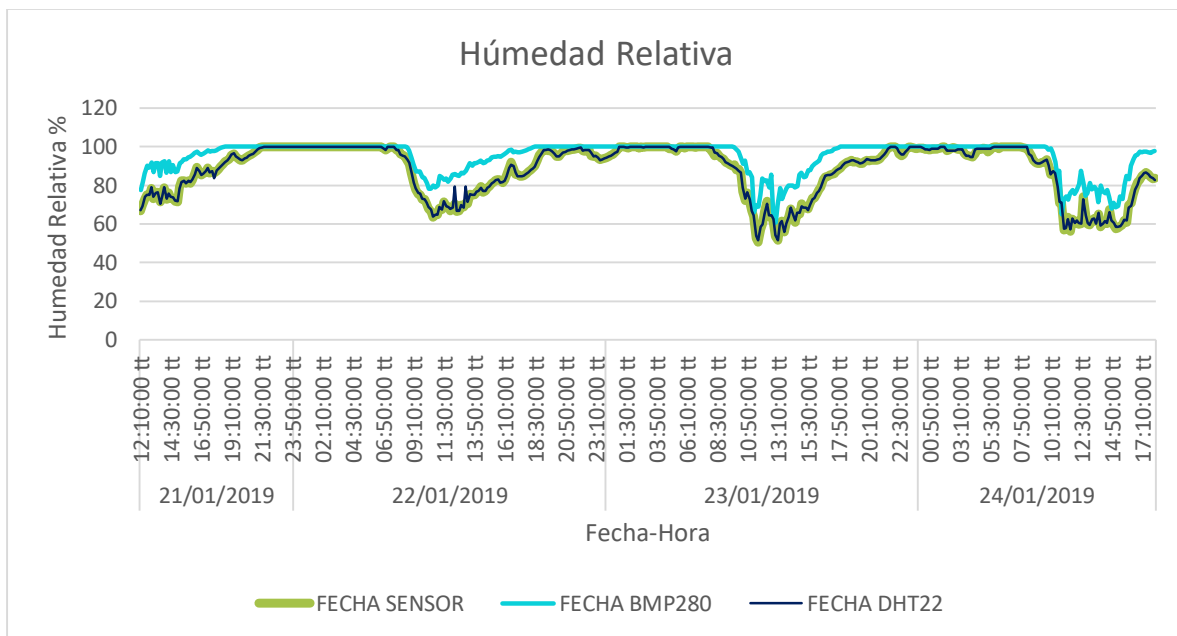


Grafico 7 . Monitoreo de temperatura con los transductores seleccionados

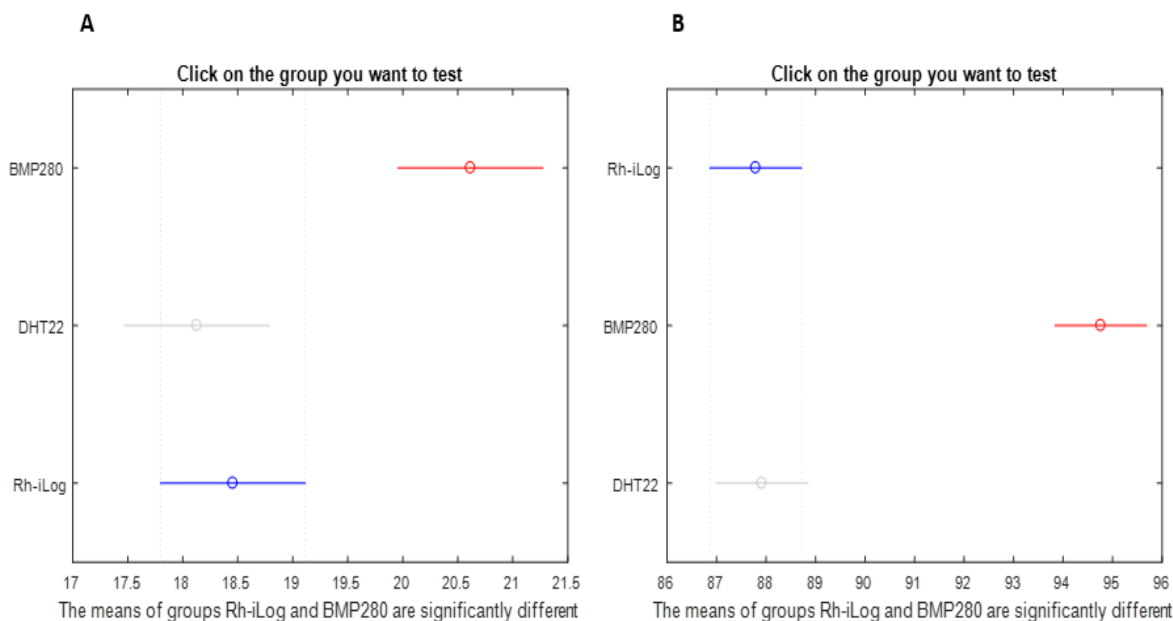


Gráfico 8 Gráfico interactivo de las estimaciones y los intervalos de comparación entre los sensores. A) Temperatura. B) Humedad Relativa.

El gráfico 9 evidencia la similitud que existe entre el DHT22 y el Rh-iLog en el registro de los datos de temperatura. Solo se notan leves diferencias durante las primeras horas de la tarde donde se encuentra la temperatura máxima del día, momento en el cual, el Rh-iLog adquiere temperaturas más elevadas.

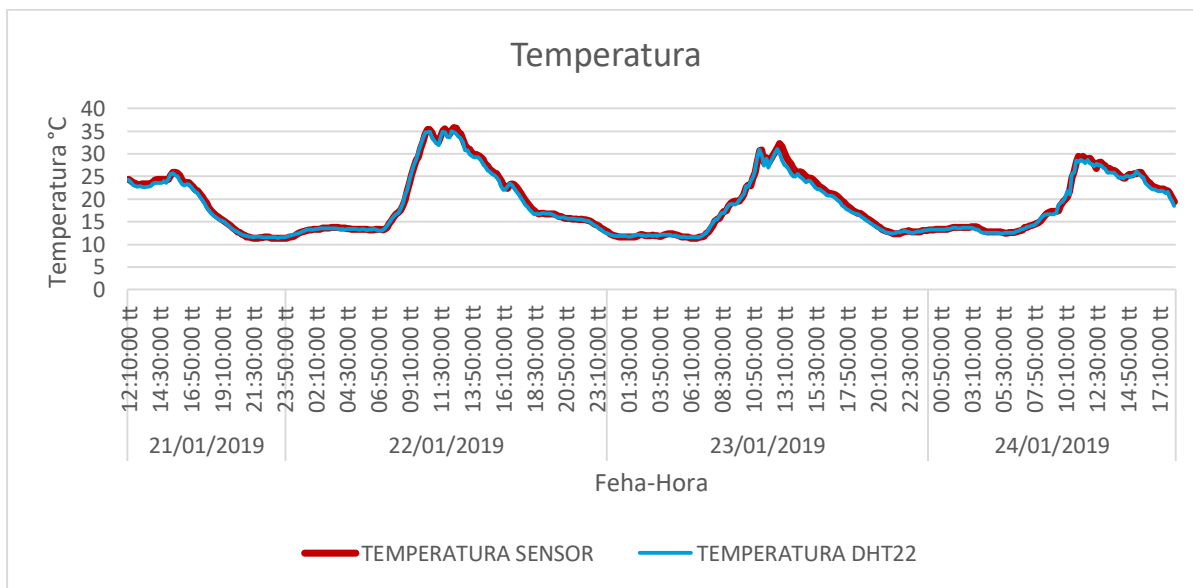


Gráfico 9 Monitoreo de temperatura con SENSOR (RH-iLog) y DHT22

En la tabla 10 se visualiza el análisis de los datos adquiridos durante cuatro días, cada 10 minutos por el RH-iLog y el DHT22. Se puede observar el valor de la media de ambos sensores en el gráfico 10, cada media está representada con un círculo azul; como se observa, la diferencia entre sus medias es de 0,2°C. La correlación lineal que existe entre

los datos adquiridos por los sensores es cercana a 1; esto quiere decir que la correlación es positiva y existe una relación de dependencia entre las variables, es decir, si una aumenta o disminuye, la otra aumenta o disminuye respectivamente, pero no en la misma proporción, ya que la desviación estándar es diferente, sin embargo, ésta diferencia de 0,2°C, no altera la adquisición de los datos.

Tabla 10 Datos estadísticos descriptivos del sensor implementado VS el sensor comercial

	DTH22	Sensor RH iLog
Desviación estándar	6,4 °C	6,6 °C
Media	18,5°C	18,7°C
T max	35 °C	35,8°C
T min	11,3 °C	11,3 °C
Correlación	0,9975	
Valor p del anova	0,5468	

El valor p, al ser mayor que 0,05, acepta la hipótesis nula o de igualdad y se rechaza la hipótesis alterna; es decir, los datos de temperatura adquiridos por los sensores son parecidos. En otras palabras, los sensores no son significativamente diferentes en la adquisición de los datos de temperatura. El grafico 10 evidencia que las medias no son significativamente diferentes para ningún sensor ya que sus intervalos se superponen.

Esto quiere decir que el sensor implementado no difiere en la adquisición de datos con el RH-iLog y por lo tanto se logró implementar un sistema de monitoreo de bajo costo que no discrepa en la adquisición de datos con el RH-iLog, y además de permite almacenar y descargar los datos, cumpliendo con la función del sensor comercial y al mismo tiempo con la función de control de temperatura permite la actuación del calefactor.

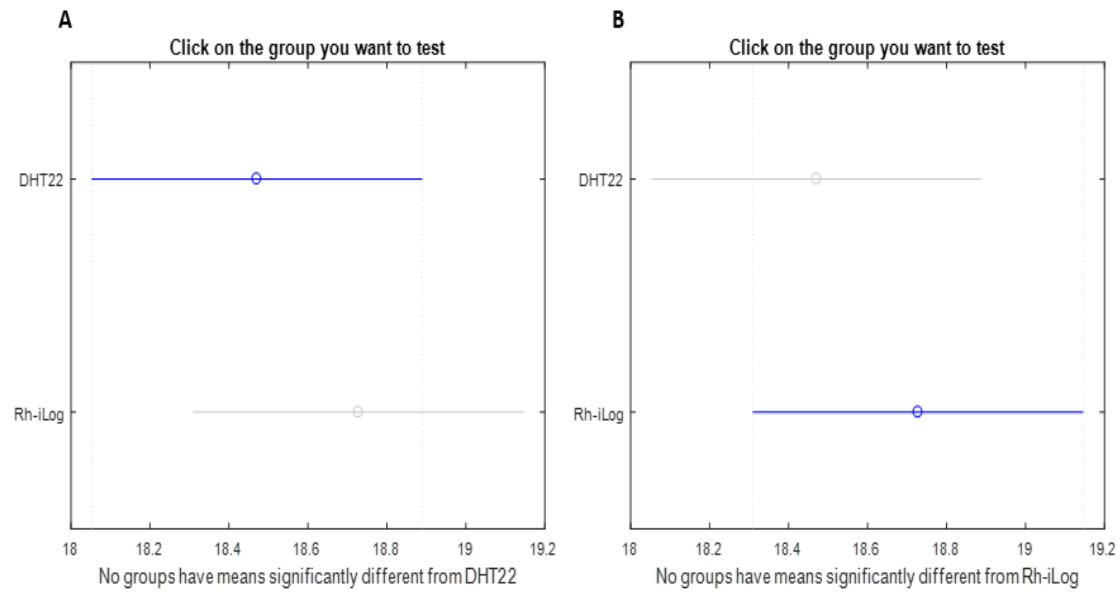


Grafico 10 Grafico interactivo de las estimaciones y los intervalos de comparación. A) Sensor DHT 22, B) del sensor comercial (Rh-iLog)



Centro de Bio-Sistemas
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Laboratorio de control de Calidad de Bioinsumos y Extractos
Vegetales de Uso Agrícola



11. Manual de usuario del zoocriadero de lepidópteros

Objeto

Los procedimientos que a continuación se describen pretenden proporcionar a los trabajadores del Laboratorio, las indicaciones para el mantenimiento general del mariposario, para la producción y mantenimiento del material vegetal del zoocriadero de lepidópteros y las indicaciones generales de como manipular el sistema de monitoreo y control.

Alcance

Estos procedimientos están dirigidos a los trabajadores del Laboratorio de Entomología y a operarios del Centro de Biosistemas.

Definiciones

Alveolo: Son pequeñas celdas que se encuentran en la bandeja de germinación.

Aporcar: Cubrir con tierra nueva el pie de una planta.

Arduino Mega 2560: Tablero de microcontrolador-placa de desarrollo basado en el Atmega 2560.

DHT22: Sensor digital de temperatura y humedad, Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante

Fertiriego: Aplicación de fertilizantes solidos o líquidos en un sistema de riego.

Fibra de coco: Tipo de sustrato que se obtiene de los residuos de las fibras de los frutos del cocotero.

Lepidóptero: Orden de insectos que presentan cuatro alas membranosas cubiertas por una serie de laminillas, que alteran la reflexión de la luz produciendo colores muy llamativos y frecuentemente. La venación de las alas forma un diseño característico y único según las especies o familias de las que se trate.

Master 17-6-18: Fertilizante edáfico para agricultura.

Micro SD: Modulo que permite el almacenamiento de información.

Módulo RTC: Circuito integrado reloj en tiempo real (RTC) capaz de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora de manera autónoma.

Plántula: Termino para nombrar a las primeras etapas de desarrollo de la plata, desde que germina la semilla hasta que adquiere sus primeras hojas verdaderas.

Rele SSR40DA: Rele de estado sólido que permite controlar cargas de alto consumo de corriente AC por medio de pequeños voltajes en DC.

Trasplantar: Trasladar plantas del sitio en que están arraigadas y plantarlas en otro.

Turba: Material orgánico, compuesto por residuos de plantas, es de color pardo oscuro y rico en carbono.

Zoocriadero: Mantenimiento, cría, fomento y/o aprovechamiento de especies de la fauna silvestre y acuática en un área claramente determinada, con fines científicos, comerciales, industriales, de repoblación o de subsistencia.

11.1. Procedimientos para la producción y mantenimiento del material vegetal

Materiales requeridos

- Guantes
- Podadera
- Regadera
- Turba
- Fibra de coco
- Compost
- Vermicompost
- Master 17-6-18
- Materas de 14 cm
- Pala pequeña
- Plántulas
- Semillas
- Rejilla de germinación
- Botellas de plástico.

11.1.1. Producción de material vegetal en el vivero

a. Sustrato

El sustrato utilizado para el trasplante del material vegetal es de origen orgánico. Se debe preparar una mezcla de turba, fibra de coco, compost y vermicompost. Para la desinfección del sustrato se utiliza el agua como método físico; este consiste en lavar el sustrato con agua y dejar al sol para disminuir la humedad y poder sembrar.

A continuación, se describe la cantidad y tipo de la mezcla del sustrato que se debe utilizar para cada proceso de plantación.

- Germinación: fibra de coco y turba (1:2)
- Trasplante a materas: compost y turba (1:2)
- Disposición final: compost y vermicompost (1:1)

b. Fertiliego

El sistema de riego es manual se debe utilizar regaderas con flor para evitar compactar el suelo, se debe regar planta por planta cada tercer día durante las primeras horas de la mañana. Se utiliza el fertilizante complejo Master 17-6-18 en una dosis de 30 g/L para la fertirrigación

c. Siembra-Plantación

El material vegetal tiene tres orígenes diferentes: semillas, plántulas del semillero del C-Bios y plántulas de otros proveedores.

Las semillas se deben sembrar en una rejilla de germinación con sustrato. Se siembra una semilla por alveolo, humedeciendo posteriormente el total de la rejilla por aspersión con una manguera y almacenando está en el cuarto de germinación a temperatura entre los 21°C y 25°C durante cuatro días. Pasado este tiempo, las rejillas se disponen en mesas de enraizamiento bajo polisombra, transcurridas 3 a 5 semanas se trasplantan en materas de 14 cm y se disponen en el vivero del zoocriadero hasta que la planta alcance una altura de 10-15 cm para su disposición final en el mariposario.

Las plántulas de 80-90 días llegan en bolsas negras de 7x14 cm con una altura aproximada de 5 cm al vivero del zoocriadero ubicado en el Invernadero de Control Biológico, se deben trasplantar en materas de 14 cm en una mezcla de turba con fibra de coco y tierra negra, estas se disponen en mesas bajo polisombra y se realiza riego manual con regadera cada tercer día hasta que la planta alcanza una altura de 10-15 cm para su disposición final al interior del mariposario.

d. Trasplante

Primero se debe realizar una limpieza manual del área de trasplante, arrancando la hierba que se encuentre alrededor. El trasplante se efectúa una vez la planta alcanza una altura de 10-15 cm, se debe realizar en horas de la tarde con el suelo húmedo, para ello se debe descompactar el suelo, abrir un agujero de 40x40x40 cm con ayuda de una

pala pequeña, agregar compost-vermicompost y mezclar con el suelo, extraer la planta en bloque de la matera evitando dañar las raíces, colocarla en el agujero y rellenar con suelo.

11.1.2. Mantenimiento del material vegetal en el mariposario

e. Riego

Para el riego de las plantas que se encuentran en materas se deben llenar las botellas de plástico con agua, se procede a realizar un orificio en el suelo de la matera con la misma dimensión del pico de la botella y se posiciona verticalmente en dicho orificio. El agua de la botella debe renovarse cada tercer día.

Para el riego de los individuos plantados en suelo se debe tomar una regadera, llenarla de agua y regar las plantas cada tercer día durante las primeras horas del día, teniendo cuidado de no generar charcos dentro del mariposario.

f. Control de plagas y malezas

Se debe hacer un monitoreo quincenal en busca de plagas y maleza. En caso de encontrar se procede a realizar una limpieza manual al arrancar la maleza y depositarla en las camas de compostaje, para las plagas se erradican manualmente o con el uso de controladores biológicos, ya que no se pueden utilizar insecticidas porque las mariposas también resultarían afectadas.

g. Poda de las plantas

Se debe realizar una vez al mes una poda de limpieza a cada una de las plantas al eliminar con la podadera las ramas que estén muertas, secas, rotas o enfermas y las ramas cruzadas o mal orientadas, especialmente de las enredaderas.

Para mantener la estética de la planta se debe cortar entre tres y cinco centímetros las ramas secundarias que han ido sobresaliendo, dejando cierta distancia y orientación entre ellas para que reciban suficiente luz. Los brazos que generan las enredaderas se deben posicionar y orientar en las cuerdas de las paredes del mariposario.

Nota: Para conocer las plantas hospederas y las especies de mariposas que tienen relación directa con alguna de ellas dirigirse a:

- “Guía de plantas hospederas para mariposarios” de German Vega (2011).

- Base de datos de plantas hospederas de lepidópteros del Mundo del Museo de Historia Natural de Londres. (<https://www.nhm.ac.uk/our-science/data/hostplants/search/>)

11.2. Protocolo general para el mantenimiento del mariposario

Materiales requeridos

- Jabón
- Guantes
- Cepillo de limpieza
- Regadera

Mantenimiento de las condiciones ambientales

1. La pantalla térmica debe abrirse sin falta a las 7:00 am, para permitir el ingreso de los rayos del sol al mariposario.
2. La pantalla térmica debe cerrarse a las 5:00 pm, para conservar el calor del mariposario.
3. Las cortinas de plástico frontales y traseras deben levantarse desde las 9:00 am. Enrollando el plástico hasta la base y sujetándolo en la parte superior con los amarres de velcro.
4. Las cortinas de plástico frontales y traseras deben cerrarse desde las 4:00 pm. Soltando los amarres de velcro y sellando las ventanas con la cinta de velcro que se encuentran en el borde.
5. En caso tal que la humedad descienda de los 60%. Se debe tomar la regadera, llenarla con agua y rociar el suelo del mariposario.
6. La bomba de la fuente se encenderá exclusivamente para las visitas programadas al mariposario. Para ello se procede a conectar el cable de la bomba a la toma corriente.

Limpieza y desinfección

1. El agua de la fuente debe renovarse cada tercer día.
2. Se debe hacer una limpieza semanal con agua y jabón de los diferentes tanques y/o recipientes de la fuente, para evitar la acumulación de materia orgánica (agua verde).
3. Se debe hacer una limpieza semanal con agua y jabón de los comederos de las mariposas.

11.3. Procedimientos para la operación funcional del sistema de monitoreo y control

Se debe cumplir con los siguientes requerimientos:

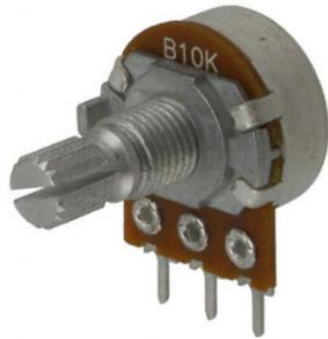
- Arduino Mega 2560
- Fuente de alimentación de 110VAC a 24VDC.
- 1 Sensores DHT22
- Calefactor
- Rele SSR40DA
- Módulo RTC
- Energía Eléctrica.
- Micro Sd

Con estos requerimientos cumplidos, ya se puede dar inicio al programa.

En la tabla 9 se encuentran los dispositivos con los que el usuario va a interactuar.

Tabla 11 Dispositivos electrónicos.

Dispositivo	Imagen
Módulo RTC	

Sensor DHT22	
Módulo Micro-Sd	
Potenciómetro 10K (Controlar la luminosidad de la LCD)	

Partes del módulo de control

El módulo de control es una caja negra hecha de acero cold rolled calibre 20. En donde se encuentra ubicado el circuito principal, con el sensor DT22, el módulo RTC, el modulo Micro SD, el relay SSR40DA y la pantalla LCD.

A continuación, se describen los componentes que estarán a la vista del usuario y con los cuales podrá interactuar.



Figura 36 Módulo de control

1. Módulo LCD



Figura 37 Pantalla LCD

El Módulo LCD es el encargado de permitir al usuario visualizar los datos de Humedad y Temperatura en tiempo real.

Nota: No Golpear la pantalla, ni sacarla, ni tocarla con las manos u objetos.

2. Micro-SD



Figura 38 Módulo Micro-SD

Se identifica con una ranura en zona inferior izquierda de la cara frontal de la caja de control, este se encarga de almacenar los datos de la temperatura ambiente y humedad relativa del mariposario. Para expulsar la Micro-SD, debe oprimir y retirar. Para descargar la información de la tarjeta, debe utilizar un adaptador Micro-SD que sea compatible con su ordenador.

3. Sensor DHT22



Figura 39 Sensor DHT22

Se encuentra en el costado derecho de la cara frontal de la caja de control, este se encarga de adquirir los datos de la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Nota: No Golpear el sensor, ni tocarla con las manos u objetos.

4. Potenciómetro 10K



Figura 40 Potenciómetro

Se encuentra al lado derecho de la ranura del módulo Micro-Sd en la zona inferior izquierda de la cara frontal de la caja de control, este se encarga de modular la luminosidad en la pantalla LCD. Para modificar la intensidad de la luz en la pantalla debe girar el eje hasta que logre visualizar los datos de temperatura y humedad en la pantalla LCD.

5. Relay- SSR40DA



Figura 41 SSR40DA

Se encuentra en la parte trasera del tablero de control, este se encarga de encender y apagar el calefactor, para ello, la clavija (arriba) debe conectarse al toma corriente y el enchufe (abajo) debe ir conectado al calefactor. En dado caso que algun cable se desconecte del SSR, puede tomar un destornillador de estrella para aflojar el tornillo, prosiga con ubicar nuevamente el cable en el pin

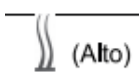
correspondiente y por ultimo asegure el tornillo hasta quedar adecuadamente asegurado.

Nota: No tocar los cables de color rojo y verde.

6. Calefactor

Se encuentra sobre una repisa, encima del tablero electrónico. Este debe permanecer en la repisa y realizar el mantenimiento correspondiente al Manual de Usuario del calefactor instalado K-CA18.

La clavija del calefactor debe permanecer conectada al enchufe del relay (SSR40DA).

Nota:  El calefactor debe permanecer en todo momento en ajuste de mucho calor (1500w).

Recomendaciones

- No apagar ni desconectar el módulo de control sin ser necesario.
- No halar los cables, puede ocasionar daños.
- No destapar la caja de control.
- No manipular los circuitos dentro de la caja.
- Mantener el área del calefactor y los tableros de control y electrónico despejada de las ramas de las plantas.
- Las baterías descargadas se deben desechar según lo estipulado en la Resolución 1297 de 2010.
- Los módulos se deben desechar según lo estipulado en Resolución 1512 de 2010.

Limpieza y mantenimiento

Para realizar el mantenimiento del módulo de control se requieren las siguientes herramientas y elementos:

- Destornillador de estrella.
- Destornillador de pala.
- Escalera metálica de 5 pasos tipo tijera.
- Aspiradora con hendiduras.
- 1 Batería de botón 3v de repuesto.
- Dos personas (preferiblemente que una de ellas tenga el curso de trabajo en alturas por si se tiene que subir más de un metro con cincuenta centímetros).

Al tener estos requerimientos cumplidos, ya se puede dar inicio a la limpieza y mantenimiento del tablero de control.

Antes de cualquier operación de limpieza, asegúrese de que los tacos se encuentren apagados y espere que se enfríe todo el sistema.

Limpieza regular

- El polvo al interior de la caja de control se puede eliminar con el uso de una aspiradora con un accesorio para hendiduras. No utilice productos líquidos u otros químicos, para rociar la caja.
- Para limpiar la suciedad de la superficie de la caja, utilice un paño limpio, suave y ligeramente húmedo. Asegúrese de no mojar la pantalla ni las hendiduras donde se ubica el sensor y la tarjeta micro-Sd. Deje que el tablero se seque completamente antes de utilizarla.

Instrucciones para el cambio de las baterías

1. Posicionar la escalera metálica para alcanzar las cajas eléctricas y de control
2. Apagar los tacos de la caja de tacos eléctricos.
3. Desmontar de la repisa la caja negra.
4. Abrir la caja negra con ayuda del destornillador de estrella
5. Identifique el módulo RTC y su batería de botón.
6. Retire la batería presionando firmemente el resorte inferior y tirando la batería hacia usted.
7. Para colocar la nueva batería, haga presión a la batería de botón y asegúrese de que la batería esta puesta totalmente insertada en el módulo.
8. Las baterías descargadas se deben desechar según lo estipulado en la Resolución 1297 de 2010.

12. Conclusiones

Las adecuaciones realizadas al mariposario incluyendo su diseño, construcción y adecuación interna por medio de material vegetal hospedero y nectarífero; así como el sistema de monitoreo y control implementado, lograron mantener las condiciones de temperatura y humedad relativa que permitan el futuro crecimiento, desarrollo y reproducción de mariposas dentro del zoocriadero cerrado de lepidópteros dando cumplimiento a los requerimientos ambientales que estas especies necesitan y a los objetivos específicos del proyecto de grado.

El mariposario y el sistema de monitoreo y control implementado lograron cumplir con los requerimientos de restricción al no superar un presupuesto de \$600.000 pesos, gracias a reutilizar materiales sobrantes de otros proyectos desarrollados en el CBIOS y a la elección de componentes electrónicos de bajo costo que cumplieron con los requerimientos de operación.

La adquisición de datos del sistema de monitoreo desarrollado no difiere con el sensor comercial de referencia RH-iLog, esta similitud, se evidencia con el análisis de varianza Anova y el test de comparación múltiple, el cual arrojó un valor p mayor a 0,05.

El establecimiento del zoocriadero cerrado de lepidópteros permitirá al CBIOS incentivar el turismo agroecológico e incorporar el zoocriadero a los talleres y capacitaciones de biología aplicada, control biológico y agroecología que brinda el Laboratorio de Entomología. Así mismo, la Universidad Jorge Tadeo Lozano podrá facilitar este espacio a investigadores y/o estudiantes que tengan interés en desarrollar algún estudio relacionado con el desarrollo de lepidópteros.

13.Recomendaciones

- Para aumentar el porcentaje de humedad durante las primeras horas de la tarde, sin que un empleado tenga que rociar el suelo con agua. Se puede implementar el uso de humidificadores ultrasónicos Mist marker en el tanque superior de la fuente.
- Para alcanzar los rangos ideales de las variables de la temperatura (20°C-28°C) y humedad relativa (60%-80%) para el mantenimiento del ciclo de vida completo de las mariposas se deben incorporar calefactores de mayor potencia para conservar la temperatura durante las noches y así disminuir el porcentaje de humedad. Los extractores de aire se deben utilizar durante las primeras horas de la tarde para disminuir la temperatura al extraer el aire caliente del mariposario.
- Es importante disminuir el porcentaje de humedad, para tener un mejor desarrollo del material vegetal introducido, puesto que la humedad elevada ralentiza la tasa de crecimiento de las plantas y favorece el desarrollo de enfermedades producidas por hongos, sin embargo, durante el desarrollo del proyecto ninguna planta se vio afectada por algún tipo de hongo, a pesar de ello, es preferible evitar su aparición en el material vegetal del mariposario.
- Durante el desarrollo del proyecto la planta de lulo se vio afectada por ácaros (*Tetranychus urticae* - *Tetranychus cinnabarinus*), a éstas plagas se les dio un manejo basado en el control biológico con ácaros depredadores (*Phytoseiulus persimilis* - *Amblyseius californicus*). Se debe realizar un seguimiento a éstas y otras plagas y diseñar un plan para el manejo de plagas basado en controladores biológicos.
- Iniciar las pruebas de adaptación de las mariposas, para verificar su desarrollo y subsistencia bajo las condiciones ambientales del zoocriadero cerrado.

14. Referencias

Acosta, M & Blanco, M. (2009). Establecimiento Y Adaptación De Dos Especies De Lepidópteros De Trópico Bajo Y Medio, A Condiciones Controladas En La Sabana De Bogotá.

Acuris. (2012). Aprendiendo a criar mariposas: desarrollo de zoocriaderos de mariposas en comunidades indígenas. Asociación de comunidades unidas de los ríos Isana y Surubí (ACURIS), Vaupés. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Alfonso, O & Piracon, D. (2016). La mariposa búho, *Caligo telamonius*: ciclo de vida, cría en condiciones de sabana de Bogotá y un modelo de bioprospección en educación.

Amaya, J. (2009). "EL CULTIVO DEL MARACUYÁ" *Passiflora edulis* form. Flavicarpa. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 2009, 30p.

Ambiente, M. d., & "Alexander Von Humbolt", D. N. (1995). Política Nacional de Biodiversidad. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Politica-Nacional-de-Biodiversidad/politica_nacional-biodiversidad.pdf

Barrera, J; Cardona, C; Cayón, D. (2011). El cultivo de plátano (*Musa* AAB Simmonds): ecofisiología y manejo cultural sostenible. Ed. Zenú. ISBN: 978-958-9244-29-6

Bautista, D; Cruz, P; Hernández, A; Juárez, L. (2018). *Asclepia curassavica*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bernal, E. (2017). Aula viva sobre el ciclo de vida de las mariposas *Danaus plexippus* y *Leptophob aripa* para la construcción de explicaciones sobre el proceso de metamorfosis. Obtenido de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4874/Bernal%2c%20E.%20%282017%29.%20AULA%20VIVA%20SOBRE%20EL%20CICLO%20DE%20VIDA%20DE%20LAS%20MARIPOSAS%20Danaus%20plexippus%20Y%20Leptophob.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Betancur, G (2017). Jardín para mariposas: pasos para atraerlas. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Gabriela_Betancur/publication/316597520_Jardin_para_mariposas_pasos_para_atraerlas/links/590647eda6fdccd580d37ead/Jardin-para-mariposas-pasos-para-atraerlas.pdf

Bondia, J; Rojo, A; Suzuki, S; Pedrol, N (2012). Capacidad fitotóxica de la capuchina (*Tropaeolum majus*) para el control de la flora arvense: Una propuesta de aprovechamiento y reciclaje de recursos para la producción ecológica. Universidad Autónoma de Madrid.

Carrillo, A. (2011). Sistemas Automáticos de Control: Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado. Obtenido de Santa Rita: UNERMB. http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf

Cerdas, M., & Castro, J. (2003). Manual práctico para la producción, cosecha y manejo poscosecha del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). MAG. Obtenido de: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-granadilla.pdf

Checa, M. F., Rodríguez, J., Willmott, K. R., & Liger, B. (2014). Microclimate Variability Significantly Affects the Composition, Abundance and Phenology of Butterfly Communities in a Highly Threatened Neotropical Dry Forest. *The Florida Entomologist*, 97(1), 1-13. Retrieved from <http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1523670912?accountid=41311>

DANE. (2016). Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria. Junio 2016. Núm.48. from: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun_2016.pdf

Díaz, V. S. (2001). Acondicionamiento térmico de edificios: eficiencia y uso racional de la energía (2a. ed.). Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co>

Figuerola, V. (2015). Diseño de un mariposario para la conservación de estas especies, que habitan en el área rural del cantón la maná, provincia de Cotopaxi, 2015. La Maná, Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná

García, A (2014) Cría de la mariposa monarca, *Danaus plexippus* (Linnaeus, 1785), bajo condiciones de laboratorio y su uso como modelo experimental en educación. Universidad Nacional de Colombia.

García, H. Constantino, L. Heredia, D & Kattan, G (2002). Guía de Campo. Mariposas Comunes de la Cordillera Central. ISBN: 958-33-3190-2

Hernández, R (2010). Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB. Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Hernández, A. L. G. Cría de la mariposa monarca, *Danaus plexippus* (Linnaeus, 1785), bajo condiciones de laboratorio y su uso como modelo experimental en educación. 2014.

IMA. (2018). Industrias Metálicas Agrícolas Invernaderos from: <https://www.invernaderosima.com/es/pantalla-t%C3%A9rmica.html>

Initiative, D. (2006). Plan de manejo de vida silvestre "AWACACHI". Obtenido de: <http://www.darwininitiative.org.uk/documents/13005/3177/13-005%20FR%20App11%20Management%20Plan.pdf>

Instituto Alexander Von Humboldt. (2018). Instituto Humboldt de Colombia. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/>

Irigoyen, J; Cruz, M. (2005). Guía técnica de semilleros y viveros frutales. Santa Tecla, El Salvador, mayo de 2005.

Lala Team. (2015). Análisis de la Germinación de la Capuchina. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de: https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria23/feria418_01_analisis_de_la_germinacion_de_la_capuchina.pdf

López, I. (2016). Establecimiento de un sistema productivo de lulo (*Solanum quitoensis*), con miras a conocer, generar y mostrar alternativas más eficientes y sostenible en el manejo del cultivo. Universidad de La Salle.

Mariposario de Benalmádena (2019). Recuperado de:
<https://www.mariposariodebenalmadena.com>

Mejía, J. (2016). Introducción a la alelopatía: uso de los productos botánicos. Producción Ecológica Certificada de Hortalizas de Clima Frio. Universidad Jorge Tadeo Lozano, pp 89-96.

Méndez, D. F. (2011). Los procesos industriales y el medio ambiente: un nuevo paradigma. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2000). Ley 611. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2000/ley_0611_2000.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 1376. Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (22 de mayo de 2015). MINAMBIENTE. Obtenido de La Diversidad Biológica, fundamental para el sostenimiento del mundo: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/sala-de-prensa/2-noticias/1804-la-diversidad-biologica-fundamental-para-el-sostenimiento-del-mundo>

Olivares, T., & Hormazabal, M. (1998). Redescipción del adulto, larva, pupa farata y algunos aspectos biológicos de *Tatochila autodice blanchardi* Butler (Lepidoptera: pieridae). Rev. Chilena Entomología. 1998, 25: 5 – 9.

Ortega, W., & Rodríguez, M. (2016). El Mariposario como Estrategia Didáctica para Caracterizar la Identidad Ambiental de los Estudiantes del grado 702 del Colegio Simón Bolívar De Suba. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Ospina, L. (2014). Estructura de la comunidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea) en distintos tipos de hábitats en la cuenca del Río Lagunillas (Tolima - Colombia)

Parrotta, J; Francis, J. (1990). *Senna siamea* Irwin & Barnaby. *Yellow cassia*, minjri. SO-ITF-SM-33. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.

Pérez, M; Pérez, A; Pérez, E. (2008). Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo.

Pinazo, O. J. M. (2009). Manual de climatización: transformaciones sicrométricas. tomo i. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co>

Poorter, H; Buhler, J; Dusschoten, D; Climent, J; Postma, J. (2012). Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. *Functional Plant Biology*, 2012, 39, 839–850. <http://dx.doi.org/10.1071/FP12049>

Rico, G (2016) Zoocría en Colombia: ¿Es sostenible y garantiza la conservación de las poblaciones naturales? Mongabay Latam from: <https://es.mongabay.com/2016/12/zoocria-colombia-sostenible-garantiza-la-conservacion-las-poblaciones-naturales/>

Ruiz, J. (2011). Fuentes nectaríferas de los Papilionidae ibéricos (Lepidoptera). *Boletín de la SAE* N° 18 (2011): 68-87.

Sánchez, N. (2010). Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza Vol 3 No4 ISSN 2027-1034. Primer semestre de 2010, Bogotá, Colombia, pp 191-19.

Sánchez, R (2004). Protocolo de cría para dos especies de mariposas. *Ascia Monuste* y *Leptophobia aripa* (Lepidoptera: Pieridae) bajo condiciones controladas en el municipio de la Mesa, Cundinamarca.

Stefanescu, C. (2004). Las mariposas diurnas: bellos indicadores de la calidad ambiental de nuestro entorno. *Metode-Primavera* (2004).

Tobar, D; Rangel, J; Andrade, M. (2001) Las cargas polínicas en las mariposas (Lepidoptera: rophalocera) de la parte alta de la cuenca del río roble-Quindío-Colombia. *Caldasia* 23(2): 549-557

Vega, G. (2010). Guía de plantas hospederas para mariposarios. Costa Rica: INBio

, C; Orozco, A; Rojas, M; Sánchez, M; Cervantes, V. (1997). La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. *Cáp 3. Los Viveros*. México, D.F. ISBN 968-16-5376-9

Vásquez Bardales, Joel, Zárate Gómez, Ricardo, Huiñapi Canaquiri, Percy, Pinedo Jiménez, Julio, Ramírez Hernández, Juan José, Lamas, Gerardo, & Vela García, Pedro. (2017). Plantas alimenticias de 19 especies de mariposas diurnas (Lepidoptera) en Loreto, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 35-42. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.13109>