DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CULTIVO VERTICAL DE ESPECIES VEGETALES PARA USO MEDICINAL EN LA COMUNIDAD INDIGENA BALOCÁ UBICADA EN NATAGAIMA-TOLIMA

ANGIE KATERINE TAPIA ORTIZ

LEIDY SAMANTHA TORRES BUSTOS

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE BIOINGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

2023

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CULTIVO VERTICAL DE ESPECIES VEGETALES PARA USO MEDICINAL EN LA COMUNIDAD INDIGENA BALOCÁ UBICADA EN NATAGAIMA-TOLIMA

ANGIE KATERINE TAPIA ORTIZ

LEIDY SAMANTHA TORRES BUSTOS

Trabajo de grado para optar por el título de Bioingeniero

Director

SERGIO ALEXIS CASTRO HERMOSA, PhD

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE BIOINGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

2023

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar y dedicar primeramente la culminación de esta etapa a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este proyecto, así como a todas las personas que me brindaron su apoyo y colaboración en este. En particular, quiero agradecer a mis queridos familiares y amigos. Su constante aliento, apoyo emocional y sacrificio personal fueron fundamentales para que pudiera enfrentar los desafíos y llevar a cabo este proyecto con éxito. Su apoyo incondicional me dio la fuerza y la confianza necesarias para superar los obstáculos y perseverar en la consecución de mis metas.

Agradezco de manera especial a mi querida madre, quien ha estado a mi lado brindándome un apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida. tu respaldo emocional, financiero y tangible ha sido fundamental para el desarrollo y éxito de este proyecto. Reconozco que, sin tu presencia constante, dedicación y generosidad, este logro no habría sido posible; tú amor y apoyo han sido la fuerza motriz que me ha impulsado a superar los desafíos y perseverar en la consecución de mis metas. Estoy eternamente agradecida por todo lo que has hecho por mí.

A Fabio, mi sincero agradecimiento por tu apoyo emocional constante y por tu invaluable ayuda en la implementación del proyecto. Tu experiencia y dedicación fueron de gran ayuda para alcanzar los resultados deseados. Tu presencia y palabras de aliento me motivaron a seguir adelante en los momentos más desafiantes.

A mi papá, quiero expresar mi gratitud por tu apoyo monetario, el cual fue esencial para financiar los recursos necesarios para la realización de este proyecto. Tu generosidad y confianza en mí me impulsaron a dar lo mejor de mí misma.

A Daniel, mi profundo agradecimiento por tu apoyo en la implementación y tu apoyo emocional constante. Tu disposición y conocimientos fueron de gran valor, tu presencia fue un factor clave para superar los desafíos.

A la familia Bautista Tapia, quiero expresar mi agradecimiento por su apoyo emocional y por ser un sustento durante la implementación del proyecto. Su cariño y respaldo, fueron elementales.

A la comunidad, que nos brindó el espacio para la implementación del proyecto, les agradezco sinceramente por su colaboración y confianza. Su apoyo fue fundamental para llevar a cabo las actividades necesarias y lograr los objetivos propuestos.

Agradezco a mi tutor de tesis, Sergio. Su orientación experta, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este proyecto. Agradezco de corazón su apoyo y sus conocimientos compartidos.

Samantha Torres

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco y dedico la culminación de esta etapa académica y este proyecto a Dios y a la Virgen, que toda la gloria sea para ellos, pues sin mi fe a través de este largo camino no hubiera podido culminar todo este proceso.

A mi madre quien me brindo su apoyo pese a las adversidades, por sus buenos consejos y el acompañamiento incondicional en este largo recorrido donde nunca me dejó rendir, ni desfallecer.

A mi padre que gracias a él obtuve el apoyo económico y emocional para poder llegar al punto donde estoy, además por siempre demostrar felicidad y orgullo por mis logros obtenidos; recuerden que sin ustedes no sería la mujer que soy hoy en día.

A mi hermanito porque es mi motivación principal de cada acción positiva que realizó y por alegrarme los días en mis momentos de frustración y tristeza.

A mi segunda familia por siempre apoyarme, preocuparse por mi futuro y creer en mí. Tía, padrino y primos sin ustedes nada de esto sería posible.

A mi novio porque siempre me dio aliento para continuar, aunque el camino se pusiera difícil.

A la familia Bustos Diaz porque sin su aporte de ideas y tiempo en la implementación de este proyecto no sería posible, ustedes fueron un pilar importante en el desarrollo de este trabajo de grado su dedicación fue excepcional.

A mis amigas por estar ahí en los buenos y malos momentos brindando ese apoyo emocional que recarga de fuerzas el alma.

Finalmente le agradezco al tutor por la paciencia que tuvo y por sus grandes enseñanzas durante este proceso; y a todas las personas que contribuyeron con su granito de arena para poder culminar de manera exitosa este proceso.

A ustedes doy gracias porque fueron parte fundamental del desarrollo de este proyecto, porque a pesar de todas las adversidades existentes no me dejaron rendir porque siempre me dieron una voz de aliento y permitieron con su aporte emocional hacer este sueño realidad, espero poder recompensarlos algún día y retribuirles el apoyo que me brindaron en cada etapa de mi carrera; ustedes fueron el motor principal para culminar este proceso y finalizar este trabajo de grado.

Angie K. Tapia

CONTENIDO

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 25
2 JUSTIFICACIÓN 27
3 OBJETIVOS 29
3.1 Objetivo general 29
3.2 Objetivos específicos 29
4 REQUERIMIENTOS 30
4.1 Requerimientos de usuario 30
4.2 Requerimientos funcionales 30
4.3 Requerimientos de restricción 32
4.4 Requerimientos de calidad 32
5 MARCO REFERENCIAL 34
5.1 Estado del arte 34
5.2 Marco territorial 36
5.2.1 Territorio de reubicación de la comunidad indígena Balocá 36
5.2.2 Delimitación del territorio 36
5.2.3 Ubicación geográfica 37
5.2.4 Zona de estudio 38
5.2.5 Comunidades indígenas en la zona 38
5.2.6 Territorio de asignación 39
5.2.7 Comunidad indígena Balocá 40
5.3 Marco teórico 41
5.3.1 Tipos de agricultura 41

5.3.1.1 Agricultura tradicional 41
5.3.1.2 Agricultura ecológica, orgánica o biológica 41
5.3.1.3 Agricultura de producción integrada 41
5.3.1.4 Agricultura vertical 42
5.3.2 Estructura para cultivos 43
5.3.2.1 Cúpula geodésica 43
5.3.2.2 Malla sombra y casa sombra 44
5.3.3 Sustrato 44
5.3.3.1 Tipos de sustrato 44
5.3.3.2 Propiedades físicas de los sustratos 46
Espacio poroso total 46
5.3.4 Plantas medicinales 47
5.3.4.1 Plantas medicinales en la comunidad indígena Balocá (*Lippia alba* y *Petiveria alliacea)* 48
5.3.5 Riego 51
5.3.5.1 Riego por goteo 51
5.3.5.2 Riego por aspersión 51
5.3.5.3 Riego por gravedad 51
5.3.5.4 Riego con emisores 52
5.3.6 Energía solar 53
5.3.6.1 Irradiación solar en el territorio 53
5.3.6.1.1 Irradiación solar en el Tolima 53
5.3.6.1.2 Irradiación solar en Natagaima 53
5.3.6.2 Tipos de energía 54

5.3.6.2.1 Energía eólica 54
5.3.6.2.2 Energía de la biomasa 54
5.3.6.2.3 Energía hidráulica 54
5.4 Marco legislativo 55
5.4.1 Marco reglamentario para cabildos indígenas 55
5.4.2 Marco reglamentario para especies vegetales 55
5.4.3 Lineamientos técnicos de medicinas y terapias alternativas según la SGSSS57
5.4.4 Marco reglamentario de energías renovables 57
5.4.5 Marco reglamentario para el uso sostenible de agua 58
6 METODOLOGÍA 59
6.1 **Fase 1:** Primer objetivo 60
6.2 **Fase 2:** Segundo objetivo 61
6.3 **Fase 3:** Tercer objetivo 63
7 RESULTADOS 65
7.1 **Fase 1:** Primer objetivo 65
7.1.1 Reunión con la comunidad para mediciones del espacio para la estructura y para el sistema de riego 65
7.1.2 Matrices de decisión para cada diseño 65
7.1.3 Diseño del domo (modelamiento CAD con cotas de la estructura). 68
7.1.4 Diseño del cultivo vertical (inclinación, orientación, lugar dentro de la estructura) 70
7.1.4.1 El cultivo se dividió en dos sectores I y II 71
7.1.4.2 Área del cultivo 72
7.1.5 Diseño del sistema hídrico y de riego 75

7.1.6 Diseño del sistema de energías renovables.....77

7.1.7 Diseño del sistema de monitoreo (Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua).....78

7.1.8 Modelado del sistema electrónico 79

7.1.9 Desarrollo del código de programación en Arduino.....81

7.1.10 Muestra de resultados en interfaz seleccionado (la facilidad para mostrar las variables monitoreadas por los sensores).....85

7.1.11 Datos del sistema de riego y del sistema de energías renovables .86

7.1.12 Revisión de materiales para cada diseño junto sus matrices de decisión 87

7.2 Fase 2: Segundo objetivo.....90

7.2.1 Preparación del terreno y fase inicial de construcción 90

7.2.2 Implementación del domo 91

7.2.3 Implementación de la estructura de los cultivos.....93

7.2.4 Implementación y validación del funcionamiento del módulo de monitoreo de pH y conductividad del agua.....94

7.2.5 Implementación del sistema hídrico y de riego.....96

7.2.6 Instalación y validación del funcionamiento del método de energía renovable.....99

7.2.7 Implementación de interfaz 101

7.2.8 Instalación e integración del módulo de monitoreo y control de la interfaz 102

7.2.9 Sistema de pruebas de programación con los módulos.....104

7.2.10 Implementación del cultivo vertical.....105

7.2.11 Prueba del funcionamiento del sistema generalizado.....108

7.3 **Fase 3:** Tercer objetivo 110
7.3.1 Medición del área foliar de la hoja 110
7.3.1.1 *Lippia alba* (Pronto alivio) 111
7.3.1.2 *Petiverea alliacea* (Anamú) 115
7.3.2 Capacitación a la comunidad y encuesta de satisfacción 119
8 ANÁLISIS DE RESULTADOS 122
9 IMPACTO 125
9.1 Impacto generado en la implementación del proyecto. 125
10 CONCLUCIONES 131
11 RECOMENDACIONES 133
12 BIBLIOGRAFÍA 134
13 ANEXOS 144

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características Biofísicas de la zona de estudio 38
Tabla 2. Tipos de agricultura vertical 42
Tabla 3. Descripción de las plantas de uso medicinal sembradas en los cabildos indígenas pertenecientes al municipio de Natagaima- Tolima. 48
Tabla 4. Requerimientos nutricionales de la Lippia alba. 49
Tabla 5. Irradiación por meses en el municipio de Natagaima - Tolima. 53
Tabla 6. Influencia según el número otorgado 66
Tabla 7.Matriz de decisión de la estructura externa del cultivo 66
Tabla 8. Matriz de decisión del sistema de cultivo 67
Tabla 9. Matriz de decisión del sistema de riego del cultivo 67
Tabla 10. Matriz de decisión del sistema de energías renovables 68
Tabla 11. Medidas de acotamiento (delimitación) obtenidas del diseño CAD.....70
Tabla 12. Material requerido para la implementación de la estructura externa del domo y sus cortes correspondientes según el diseño 70
Tabla 13. Materiales obtenidos por AUTOCAD para sistema hídrico. 77
Tabla 14. Componentes del sistema de riego por goteo.....88
Tabla 15. Componentes para el sistema de monitoreo. 89
Tabla 16. Matriz de decisión de los materiales para el domo 90
Tabla 17. Frecuencia de medición de los sensores para el sistema de monitoreo 94
Tabla 18. Suma de potencia necesaria para accionar cada sensor.....99
Tabla 19. Mediciones de la altura de la planta Lippia alba, ancho y largo de la lámina foliar; realizado el día 45 desde la siembra o el día 20 desde el trasplante. 112
Tabla 20. Área foliar de las hojas de Lippia alba con 150 días de ciclo vegetativo 114

Tabla 21. Mediciones de la altura de la planta Petiverea alliacea, ancho y largo de la lámina foliar; realizado el día 45 desde la siembra o el día 20 desde el trasplante. 116
Tabla 22. Área foliar de las hojas de Petiverea alliacea con 150 días de ciclo vegetativo.....118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital del territorio de reubicación de la comunidad indígena Balocá tomado de Google Earth. 37
Figura 2. Imagen satelital del territorio de asignación de la comunidad indígena Balocá, tomada de Google Earth. 39
Figura 3. Cabildo indígena Balocá. 40
Figura 4. Objetivos específicos en fases; Fuente: (Tapia & Torres,2022). 59
Figura 5. Caja negra de la metodología 60
Figura 6. Caja gris de la metodología 60
Figura 7. Metodología de la fase 1 para el primer objetivo. 61
Figura 8. Metodología de la fase 2 para el segundo objetivo. 62
Figura 9. Metodología de la fase 2 para el segundo objetivo. 63
Figura 10. Metodología de la fase 3 para el tercer objetivo. 64
Figura 11. Reunión de consenso para la delimitación del espacio para la implementación del proyecto; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 65
Figura 12. Acotamiento del pentágono inicial del diseño realizado en AutoCAD, (medidas en cm); Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 68
Figura 13. Diseño de la estructura final (Medidas en m); Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 69
Figura 14. Estructura externa final del Domo; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 69
Figura 15. Vista general de la estructura del cultivo sectorizado; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 71
Figura 16. Cultivo sectorizado de siembra directa del Lippia alba (Pronto alivio); Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 71
Figura 17. Cultivo elevado en tubos PVC para la Petiveria alliacea (Anamú); Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 72
Figura 18. Representación del cultivo en cama a un prisma para hallar el área total del cultivo I; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 73
Figura 19. Vista superior de cama de cultivo sectorizado, Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 74

Figura 20.Representación del cultivo elevado en tubo de PVC para hallar el área total; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 74
Figura 21. Vista general del sistema de riego al domo geodésico en AUTOCAD; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 75
Figura 22. Conexión de la tubería para el sistema hídrico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 76
Figura 23. A. Diagrama de sistema de energías renovables, B. esquemático de conexiones del panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022) 78
Figura 24. Procesamiento del sistema de monitoreo; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 79
Figura 25. Revisión de sensores para el sistema electrónico. Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 80
Figura 26. Diseño para la medición del pH del agua. 80
Figura 27. Diseño para la medición de humedad del suelo 81
Figura 28. Diseño para la conductividad eléctrica del agua. 81
Figura 29. Diagrama de flujo del código de sensor de humedad; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 82
Figura 30. Diagrama de flujo del código de sensor de pH; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 83
Figura 31. Diagrama de flujo del código de sensor de conductividad; Fuente: (Tapia & Torres, 2022) 84
Figura 32. Selección de interfaz; Fuente: (Tapia & Torres,2022). 85
Figura 33. Visualización de la interfaz; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 85
Figura 34. A: Proceso de desyerbado y nivelación del terreno; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: Lugar de ubicación de la estructura desyerbado y nivelado; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 91
Figura 35. A: Maqueta del domo geodésico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: Unión de la guadua; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 91
Figura 36. Proceso de corte y taladrado de la guadua; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 92

Figura 37. A: soldadura de las uniones de la estructura; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: Domo finalizado y cubierto con poli sombra; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).....93
Figura 38. Construcción de la sección **I** y sección **II** del cultivo; Fuente: (Tapia &.93
Figura 39. Prueba del sensor de humedad con el suelo de muestra; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).....95
Figura 40. Funcionamiento sensor capacitivo de humedad 1.2 V; Fuente: (Brunette, 2022).....96
Figura 41. Instalación e implementación del sistema hídrico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022) 97
Figura 42. Regata subterránea de tubería del sistema hídrico a conexiones del sistema de riego dentro del domo.....98
Figura 43. Electroválvulas para accionamiento del sistema de riego.....99
Figura 44. Implementación de panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 100
Figura 45. Regulador de voltaje y batería del panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).....100
Figura 46. Implementación de pantalla LCD como interfaz.....101
Figura 47. Instalación del sistema de monitoreo.....102
Figura 48. Instalación del sistema de monitoreo y electrónico en general.....103
Figura 49. Diagrama explicativo de la implementación de la programación con el sistema; Fuente: (Tapia & Torres,2022).....104
Figura 50. Instalación del sistema de riego por goteo.....105
Figura 51. Siembra en semillero de planta de Pronto alivio y Anamú; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).....106
Figura 52. Preparación de sustrato y abono para el posterior trasplante Fuente: (Tapia & Torres,2022).....107
Figura 53. Implementación del cultivo vertical. 108
Figura 54. Gráfica de sensor de prueba de humedad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 109

Figura 55. Gráfica de sensor de humedad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 109
Figura 56. Gráfica de sensor de conductividad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 110
Figura 57. Gráfica de sensor de pH, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022). 110
Figura 58. A: Altura de la planta de Lippia alba Fuente: (Tapia & Torres,2022). B: Medición del largo de la hoja de la Lippia alba. 112
Figura 59. Crecimiento de las plantas de Lippia alba en 60 días y a 150 días después de su trasplante. 113
Figura 60. Medición del ancho de la hoja de Lippia alba. 113
Figura 61. Medición del largo de las hojas de Lippia alba. 113
Figura 62. Conteo de hojas de Lippia alba.....114
Figura 63. Altura de la Lippia alba. Fuente: (Tapia & Torres,2022). 115
Figura 64. Altura alcanzada en los primeros 45 días de la planta Petiverea alliacea. 115
Figura 65. Medición del largo de la hoja de Petiveria alliacea. 116
Figura 66. Crecimiento de las plantas de Petiveria alliacea en 70 días y a 150 días después de su trasplante. 117
Figura 67. Medición del ancho de la hoja de Petiveria alliacea.....117
Figura 68. Medición del largo de la hoja de Petiveria alliacea. 117
Figura 69. Conteo de hojas de Lippia alba.....118
Figura 70. Personas de la comunidad respondiendo la encuesta.....119
Figura 71. Gráfico de barras sobre el reconocimiento de la Lippia alba y la Petiverea alliacea.....120
Figura 72. Gráfico de barras sobre preferencias a tratamiento de enfermedades. 120
Figura 73. Gráfica del efecto que genera el proyecto en la comunidad. 121
Figura 74. Alcance del proyecto.....130

RESUMEN

El siguiente proyecto se llevó a cabo en la comunidad Indígena Balocá, ubicada en Natagaima - Tolima. Durante el desarrollo del proyecto, se realizó un exhaustivo análisis de los sistemas productivos de plantas medicinales utilizadas en dicha comunidad, con el objetivo de identificar posibles dificultades en su siembra y cultivo. Una de las principales limitaciones encontradas fue la escasez de espacio, lo cual restringio el desarrollo de cultivos que formaran parte de la identidad cultural de la comunidad y estuvieran estrechamente relacionados con la medicina tradicional. No obstante, se reconoció el valor de uso de estas especies y su importancia en el tratamiento de enfermedades, dado que han sido empleadas históricamente con fines terapéuticos y etnobotánicos, generando un profundo sentido de aprecio cultural por parte de la comunidad indígena Balocá.

Con el fin de superar esta limitación espacial, el objetivo central del proyecto consistió en diseñar y desarrollar un sistema de cultivo vertical que permitiera a la comunidad indígena Balocá aumentar su capacidad de siembra en espacios reducidos. Para lograrlo, se llevó a cabo un detallado análisis del área disponible y se tuvieron en cuenta las variables propias del cultivo que podrían influir en su vulnerabilidad y adaptabilidad. Como resultado de este análisis, se diseñó un sistema de cultivo vertical especialmente adaptado para la producción de dos plantas medicinales ampliamente utilizadas en la medicina natural: *Lippia alba* (conocida como "pronto alivio") y *Petiveria alliacea* (conocida como "anamú"). Para asegurar el óptimo desarrollo de estas plantas, se implementaron variables controladas y monitoreadas, tales como el nivel de humedad del suelo, el pH y la conductividad eléctrica del agua, todo ello gestionado mediante un sistema de riego automatizado que garantizaba el suministro adecuado de agua en los momentos precisos para maximizar la productividad de las plantas.

Los resultados obtenidos demostraron una notable mejora en el área de siembra gracias al uso del sistema de cultivo vertical, evidenciado mediante la comparación fenotípica del área foliar de las plantas. Asimismo, se lograron proporcionar condiciones ambientales óptimas para el crecimiento de las especies vegetales mediante el sistema de riego automatizado, lo cual permitió recuperar las valiosas tradiciones culturales relacionadas con el tratamiento de enfermedades mediante la siembra de plantas medicinales. En conjunto, este proyecto ha demostrado que el empleo de un sistema de riego automatizado en un cultivo vertical de plantas medicinales constituye una solución altamente efectiva y sostenible. Además de optimizar el uso del espacio disponible, este enfoque ha simplificado las tareas de cuidado y mantenimiento, fortalecido la identidad cultural de la comunidad indígena y contribuido a la preservación del medio ambiente. Estos resultados respaldan la importancia de promover iniciativas similares que beneficien a las comunidades indígenas en términos de salud y cultura.

Palabras claves: Comunidad Indígena, plantas medicinales, cultivo vertical, identidad cultural, tratamiento de enfermedades, sistema de riego, variables controladas y monitoreadas.

ABSTRACT

The following project was carried out in the Balocá indigenous community, located in Natagaima - Tolima. During the development of the project, an exhaustive analysis of the production systems of medicinal plants used in this community was carried out, with the objective of identifying possible difficulties in their planting and cultivation. One of the main limitations found was the lack of space, which restricted the development of crops that were part of the cultural identity of the community and were closely related to traditional medicine. However, the value of use of these species and their importance in the treatment of diseases was recognized, given that they have been historically used for therapeutic and ethnobotanical purposes, generating a deep sense of cultural appreciation by the Balocá indigenous community.

In order to overcome this spatial limitation, the main objective of the project was to design and develop a vertical cultivation system that would allow the Balocá indigenous community to increase their planting capacity in reduced spaces. To achieve this, a detailed analysis of the available area was carried out and the variables inherent to the crop that could influence its vulnerability and adaptability were taken into account. As a result of this analysis, a vertical cultivation system specially adapted for the production of two medicinal plants widely used in natural medicine was designed: Lippia alba (known as "pronto alivio") and Petiveria alliacea (known as "anamu"). To ensure the optimal development of these plants, controlled and monitored variables were implemented, such as soil moisture level, pH and electrical conductivity of the water, all managed by an automated irrigation system that ensured adequate water supply at the precise moments to maximize plant productivity.

The results obtained showed a significant improvement in the planting area thanks to the use of the vertical cultivation system, as evidenced by the phenotypic

comparison of the leaf area of the plants. Likewise, it was possible to provide optimal environmental conditions for the growth of plant species through the automated irrigation system, which made it possible to recover valuable cultural traditions related to the treatment of diseases through the planting of medicinal plants. Overall, this project has demonstrated that the use of an automated irrigation system in a vertical cultivation of medicinal plants is a highly effective and sustainable solution. In addition to optimizing the use of available space, this approach has simplified care and maintenance tasks, strengthened the cultural identity of the indigenous community, and contributed to the preservation of the environment. These results support the importance of promoting similar initiatives that benefit indigenous communities in terms of health and culture.

Key words: Indigenous community, medicinal plants, vertical cultivation, cultural identity, disease treatment, irrigation system, controlled and monitored variables.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado se enfoca en la comunidad indígena Balocá, ubicada en Natagaima - Tolima. El objetivo principal es desarrollar un sistema de cultivo vertical para la producción de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, plantas utilizadas en medicina natural. Estas especies son valoradas por sus propiedades terapéuticas, proporcionando a la comunidad tratamientos naturales para una variedad de enfermedades.

La comunidad indígena Balocá, perteneciente al pueblo Pijao, ha enfrentado desafíos significativos debido al impacto del conflicto armado en el país. Según la UNHCR (2011), los pueblos indígenas se consideran uno de los grupos más vulnerables, ya que su ordenamiento, territorio y relaciones con la naturaleza y la cultura se ven directamente afectados. Dentro de este contexto, la comunidad Balocá ha experimentado el desplazamiento forzado en un 87% de los casos, junto con otros hechos victimizantes como amenazas, homicidios, actos terroristas y pérdida de bienes (Unidad de Víctimas, 2017).

Como resultado de estas circunstancias, la comunidad indígena Balocá ha sufrido la pérdida de tradiciones arraigadas en su cultura y conocimientos empíricos relacionados con la medicina tradicional, transmitidos de generación en generación (Mininterior, 2019). En este contexto, el desarrollo de un sistema de cultivo vertical para plantas medicinales adquiere una importancia particular, ya que permite a la comunidad recuperar y preservar su herencia cultural al brindarles acceso a tratamientos naturales para diversas enfermedades.

Este trabajo de grado busca abordar esta problemática y contribuir al bienestar de la comunidad indígena Balocá al diseñar un sistema de cultivo vertical que facilite la producción de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, fortaleciendo así sus tradiciones y conocimientos ancestrales relacionados con la medicina natural.

La medicina tradicional se define como una práctica o un enfoque donde hay una creencia sanitaria basada en plantas o animales aplicadas de forma individual o colectiva para el bienestar de la salud física o mental (Cardona, Arias. 2012). Los

tratamientos medicinales naturales se destacan por ser un método propio donde se presta diagnóstico, atención, cuidado y prevención dónde son utilizadas las plantas, animales, minerales, ritos, terapia física y mental (Cardona A., 2012) con el fin de garantizar una vida plena y armónica, pero a la vez ligada con los saberes ancestrales (Ley 759., 2011).

Propiamente en la comunidad indígena Balocá la medicina tradicional está basada principalmente en las plantas medicinales que son usadas para el tratamiento de enfermedades y afecciones teniendo así a la mano una herramienta terapéutica (Mininterior, 2019). “Las plantas medicinales fueron conocidas y utilizadas en el pasado por las culturas indígenas quienes aprendieron a servirse de ellas preparando remedios para todo tipo de dolencias y enfermedades. El conocimiento de las especies vegetales refuerza los planes de conservación y uso sostenible de los componentes” (Rodriguez, 2017).

Según el estudio de caracterización de plantas medicinales realizada por Rodriguez en el año 2017, encontró cerca de 82 especies diferentes de plantas medicinales (dividas en árboles, hierbas, trepadoras y palmas) que se dan en la zona de Balocá donde el 53.7% corresponde a plantas nativas donde tienen riesgo de extinción debido a la actividad agropecuaria dejando en riesgo la identidad local de la comunidad indígena.

El uso de las plantas es principalmente etnobotánico y se utilizan mayormente como sedante, antidiabético, hipoglucemiante, inmunoestimulante, diurético, para trastornos digestivos e hipertensión (Bonilla, 2018.) (Duharte et al., 2011), donde se destacan dentro de la comunidad indígena por mayor importancia relativa el pronto alivio o *Lippia alba*, el anamú o *Petiveria alliacea*. Destacando que para la siembra de plantas medicinales se utilizan los cultivos tradicionales en periodos más o menos prolongados de tiempo donde suele tener poca influencia tecnológica (Agroboca, 2021). Resaltó que estos cultivos suelen requerir un gran

espacio, debido al requerimiento de distancia que debe existir en la siembra de las plantas para así tener una mejor absorción de nutrientes y un mejor crecimiento.

Desde hace unos años en Colombia existe la producción de cultivos de manera vertical y es uno de los conceptos más viables para la plantación en espacios reducidos con el objetivo de generar una mayor producción agrícola. Acoge diferentes usos de tecnología para los sistemas de aplicación. Se basa en capas apiladas verticalmente, superficies inclinadas y / o integradas en otras estructuras (Barón, 2019). Es un modelo útil ya que ahorra agua, además, no requiere una gran cantidad de fertilizantes y pesticidas porque se asocian con hortalizas y hierbas medicinales de mutuo beneficio lo que permite alejar las plagas y enfermedades, asimismo por su gran impacto visual y ambiental (Carranza, 2013). Adicionalmente son cultivos de implementación económica ya que los materiales usados son de fácil acceso y la mano de obra es mínima (Quimbay et al).

Es importante mencionar que el espacio de siembra es reducido ya que la comunidad cuenta con un espacio total de 600 m2 el cual fue otorgado por el gobierno nacional después del desplazamiento armado, con la finalidad de cumplir con el artículo 26 de la ONU (2007) donde se reubica a la comunidad indígena en la vereda Balocá ubicada en Natagaima - Tolima (3°39'01.5"N 75°05'40.1"W). El territorio ha sido dividido en un área para reuniones culturales y zonas comunes como baños.

Por lo tanto, este trabajo de grado tendrá la finalidad de restablecer la medicina tradicional dentro de la comunidad indígena Balocá mediante las plantas medicinales como la *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* ya que son las plantas con mayor importancia etnobotánica dentro de la comunidad. Aun así, si se quiere sembrar a futuro otras plantas tales como la caléndula o la sábila será posible ya que tienen requerimientos similares a las ya mencionadas.

De igual manera se genera una optimización de espacio mediante los cultivos verticales ya que son viables para una mayor producción agrícola, los cuales

darán disponibilidad de plantas medicinales para las 48 familias de la comunidad indígena. Cabe resaltar que el sistema de cultivo vertical contará con un sistema de riego automatizado, medirán variables como pH, humedad del suelo y conductividad eléctrica del agua con la finalidad de mejorar la productividad agrícola y así fomentar la recuperación de la medicina tradicional en la comunidad indígena Balocá.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los pueblos indígenas en Colombia han sido afectados por el conflicto armado (MinInterior, 2011) generando hechos victimizantes como el desplazamiento forzado y en consecuencia problemáticas asociadas a la pérdida de tradiciones arraigadas a su comunidad como los tratamientos medicinales (ACNUR, 2011). La práctica de la medicina en las comunidades indígenas es reconocida como la unión de tradiciones, prácticas y creencias que se fundamentan en conocimientos empíricos acerca del medio ambiente basados en la observación y en la tradición que se transmiten de generación en generación (Andrade et al., 2005). Los líderes de este sistema son conocidos como chamanes, mamos o médicos tradicionales según lo denomine la comunidad indígena. Ellos poseen métodos propios encargados de prestar tratamientos, diagnóstico, atención, cuidado y prevención dónde son utilizadas las plantas, animales, minerales, ritos, terapia física y mental (Cardona, 2012) con el fin de garantizar una vida plena y armónica, pero a la vez ligada con los saberes ancestrales (Ley 759, 2011).

Dentro del pueblo indígena Pijao, la comunidad indígena Balocá fue víctima de desplazamiento territorial y el gobierno nacional decidió reubicarlos en la vereda Balocá de Natagaima - Tolima (3°39'01.5"N 75°05'40.1"W) con la finalidad de restablecer sus derechos territoriales cumpliendo con el artículo 26 de la ONU sobre los derechos de los pueblos indígenas. El territorio otorgado es de aproximadamente 600 m2, para una comunidad conformada por 48 familias para un total de 348 personas (Mininterior, 2019), siendo un espacio insuficiente para que las familias lo habiten debido a que el territorio ha sido dividido en un área para reuniones culturales y zonas comunes como baños. La comunidad indica que dentro de esa división funcional hay un espacio disponible de 30m2 el cual se destinó a la producción de especies medicinales siendo un espacio limitado ya que el distanciamiento mínimo entre estas es de 0.4 m lo que da para una capacidad de siembra de 32 plantas (Garces, 2010)(Díaz, 2003), aunque esa distancia de siembra cambia dependiendo la especie (Uchegbu et al., 2011) siendo escaso

para la comunidad ya que mínimo se requiere una planta para cada familia de acuerdo a sus condiciones de salud resaltando que los mayores antecedentes patológicos que presentan son la hipertensión con un 81% de la población y diabetes con un 19% (Mininterior, 2019).

Es preciso mencionar que actualmente la comunidad indígena tiene un reservorio de agua disponible para los cultivos, sin embargo, este no cuenta con ninguna adaptación del riego el cual debe depender de las características físicas del sustrato y la especie de planta (Cruz, et al., 2013). Por lo cual, el mamo de la comunidad indígena Balocá ha tenido que cultivar este tipo de plantas en tierras rentadas que cuentan con el recurso hídrico.

2 JUSTIFICACIÓN

La OMS en su estrategia "Salud para todos en el año 2000", reconoció la necesidad de incorporar a la salud pública los recursos y técnicas de la medicina tradicional, y resalta la importancia del monitoreo y control de la calidad y la eficacia de los productos herbarios, protegiendo los cultivos de diferentes variables que puedan impedir su correcto desarrollo (Aguado, 2012). En Colombia, el uso de plantas medicinales es de carácter multicultural y resulta de alta importancia en pueblos indígenas los cuales representan el 3.43% de la población (ONIC, 2021). Las comunidades indígenas consideran la medicina tradicional y saberes ancestrales parte de la solución al tratamiento de varias enfermedades donde cada especie vegetal es utilizada para un uso terapéutico específico (Rodriguez, 2017).

Entre las diferentes plantas utilizadas en la medicina tradicional de la comunidad indígena Balocá (Garzón, 2016), la *Lippia alba* y la *Petiveria alliacea* resaltan debido a que han sido usadas con fines terapéuticos y etnobotánicos como sedante, antidiabético, hipoglucemiante, inmunoestimulante, diurético, para trastornos digestivos e hipertensión (Duharte et al., 2011). Se reconoce que estos efectos se deben a la presencia de aceites esenciales en sus hojas, compuestas por B-cariofileno, genarila, esteroides, taninos, flavonoides, saponinas y aminoácidos (Sánchez, et al., 2004). Los aceites esenciales que producen las plantas medicinales son utilizados como un compuesto activo en el 46% del área biomédica y 4% en el área etnofarmacología a nivel mundial (Acosta & Molina, 2019).

Es así, que este proyecto propone el desarrollo de un cultivo vertical de plantas medicinales con la finalidad de generar una mayor capacidad de siembra en espacios reducidos (Barón, 2019), su importancia radica en el ahorro continuo de agua, además tiene menor incidencia de enfermedades en las plantas (Carranza, 2013) como lo son la *Lippia alba* y la *Petiveria alliacea*. El cultivo tiene monitoreo

constante de variables fisicoquímicas (Humedad del suelo, pH y conductividad del agua) y control de riego que permita aportar la cantidad de agua en el momento que se necesita de acuerdo con las condiciones del sustrato (Cruz et al., 2013). Se resalta que el espacio disponible es de 30 m2 con una capacidad de siembra actual de 20 plantas de *Lippia alba* y 32 de *Petiveria alliacea* (Garces, 2010) siendo insuficientes para el número de familias de la comunidad indígena Balocá, por lo cual se pretende incrementar esta cifra a un número mínimo de 42 plantas por especie (Díaz, 2003). Esto permitirá que las plantas sean cultivadas en el territorio de la comunidad Balocá por lo que no será necesario rentar tierras para esta práctica y brindará un espacio de acercamiento e interacción entre la comunidad. A su vez se espera generar un sentido de apropiación de este tipo de plantas incorporando las tradiciones como la ritualidad, y la medicina ancestral y de saberes enfocados de manera propia en la comunidad indígena Balocá.

Dicho lo anterior, este proyecto está dentro de los lineamientos del programa Bioingeniería de la Universidad El Bosque con el desarrollo de un sistema de cultivo vertical con control de riego que asegure el contacto del agua con el suelo de las plantas medicinales, permitiendo establecer la producción de aproximadamente 48 plantas de las dos especies *Lippia alba* y la *Petiveria alliacea* que pueden suplir algunas necesidades de salud como la diabetes e hipertensión que se presentan en 19 y 81% de la población respectivamente (Mininterior, 2019) de las 48 familias. Se espera generar un impacto positivo en tres ejes fundamentales como el social, ambiental y económico de la comunidad indígena Balocá. Adicionalmente, se espera impulsar la producción agrícola, ligada a los saberes y tradiciones comunitarias, aportando a un desarrollo sostenible.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de cultivo vertical para la producción de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* como insumos de medicina natural en la comunidad indígena Balocá ubicada en Natagaima - Tolima.

3.2 Objetivos específicos

1. Diseñar una estructura para un cultivo vertical de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, un sistema de riego y un sistema de monitoreo de variables (Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua).

2. Implementar una estructura para un sistema vertical, un sistema de riego y un sistema de monitoreo de variables (Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua) para el cultivo de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*.

3. Evaluar el funcionamiento del sistema del cultivo en términos de producción, bajo los parámetros del área foliar, número de hojas y duración del ciclo de la *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* frente a la revisión de literatura del cultivo tradicional.

4 REQUERIMIENTOS

Los requerimientos de calidad, restricciones, funcionales y técnicos fueron considerados durante el diseño, desarrollo e implementación del sistema de cultivo vertical, asegurando así su efectividad y cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto.

4.1 Requerimientos de usuario

El sistema de cultivo vertical debe permitir la siembra de plantas exclusivamente para uso medicinal, asegurando que las especies cultivadas sean de valor terapéutico para la comunidad.

Se debe proporcionar una capacitación adecuada a los usuarios del sistema de cultivo vertical de plantas medicinales, con el fin de garantizar el correcto uso y mantenimiento del sistema, así como el aprovechamiento adecuado de las plantas cultivadas.

El terreno destinado a la siembra en el sistema de cultivo vertical no debe exceder un área de 30 m², respetando así las limitaciones de espacio presentes en la comunidad.

La estructura del cultivo vertical debe ser construida con materiales ecológicos, que minimicen el impacto ambiental y promuevan la sostenibilidad del sistema. Se deben priorizar materiales reciclados, renovables o biodegradables en la medida de lo posible.

4.2 Requerimientos funcionales

El sistema de cultivo vertical debe permitir la siembra y cultivo de las especies *Lippia alb*a y *Petiveria alliacea.*

El sistema de riego automatizado debe activarse según los rangos de humedad requeridos para cada especie.

El sistema de monitoreo debe proporcionar información en tiempo real sobre las condiciones ambientales del cultivo, incluyendo la temperatura, humedad, y niveles de luz.

El sistema debe ser programado y controlado a través de un microcontrolador para facilitar el control y el monitoreo de las variables fisicoquímicas del cultivo.

El sistema debe contar con una interfaz que permita la comunicación y transmisión de datos monitoreados, ya sea a través de una pantalla de visualización o mediante conectividad a una red.

Los sistemas de monitoreo y riego deben ser alimentados por energías renovables, para minimizar el impacto ambiental y asegurar la sostenibilidad del sistema.

Se debe garantizar que el pH del agua se mantenga entre 5.5 y 7, para proporcionar las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.

La conductividad eléctrica del agua debe estar en el rango de 200 a 1500 uS/m, asegurando un equilibrio adecuado de nutrientes y minerales en el agua utilizada para el riego.

El sustrato utilizado en el cultivo debe mantener un porcentaje de humedad entre 80% y 90% para las especies *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, promoviendo un ambiente propicio para su crecimiento y desarrollo.

El sensor de humedad del sustrato debe ubicarse a una profundidad de 5 cm para garantizar mediciones precisas y representativas del nivel de humedad del suelo.

La distancia entre plantas de *Lippia alba* debe ser de 0.5 m, siguiendo las recomendaciones de espacio adecuado para esta especie y asegurando un uso eficiente del espacio disponible.

Se debe evitar la exposición directa de las plantas *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* a la luz solar, ya que esto puede afectar su desarrollo vegetativo. Se deben implementar sombreados o estructuras que protejan las plantas de la radiación solar directa.

4.3 Requerimientos de restricción

El sistema de cultivo vertical debe reducir la incidencia de problemas fitosanitarios y el crecimiento de las plantas medicinales en espacios reducidos, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio presentes en la comunidad indígena Balocá.

El diseño y desarrollo del sistema deben adaptarse a las limitaciones de espacio presentes en la comunidad, asegurando que se tenga la plantación necesaria de especies medicinales dentro de los límites disponibles.

El sistema de cultivo vertical debe respetar las prácticas culturales y los conocimientos tradicionales de la comunidad en relación con el tratamiento de enfermedades mediante plantas medicinales.

El área ocupada por el sistema de cultivo vertical no debe exceder los 30 m^2, para mantenerse dentro de los límites establecidos y adaptarse a las restricciones de espacio presentes en la comunidad indígena Balocá.

4.4 Requerimientos de calidad

El sistema de cultivo vertical debe permitir un aumento significativo en la capacidad de siembra en espacios reducidos, superando la limitación espacial existente.

El sistema de cultivo debe garantizar que las plantas *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, tengan los recursos suficientes de agua, asegurando así el crecimiento vegetativo.

El sistema de cultivo vertical debe permitir la siembra y cultivo de plantas medicinales estrechamente relacionadas con la medicina tradicional de la comunidad, asegurando la preservación de sus tradiciones culturales y conocimientos ancestrales.

El sistema de riego automatizado debe proporcionar las condiciones necesarias de humedad para el crecimiento de las especies vegetales.

El sistema de cultivo vertical debe demostrar una mejora notable en el área de siembra, evidenciada mediante la comparación fenotípica del área foliar de las

plantas, de acuerdo a los sistemas productivos de los cultivos tradicionales de la misma especie desde la revisión bibliográfica.

El sistema de cultivo vertical debe simplificar las tareas de cuidado y mantenimiento, ofreciendo una solución sostenible mediante el uso del espacio disponible.

El sistema de cultivo vertical de plantas medicinales debe contribuir al fortalecimiento de la identidad cultural de la comunidad indígena Balocá al permitir la recuperación de las tradiciones relacionadas con el tratamiento de enfermedades mediante la siembra de plantas medicinales.

El sistema de cultivo vertical debe contribuir a la preservación del medio ambiente, utilizando prácticas respetuosas con el entorno.

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 Estado del arte

Plazas (2020) presenta el desarrollo de un sistema tecnológico IoT para el manejo de cultivos verticales que permite la obtención de datos de diferentes parámetros por medio de dos nodos de sensores, uno para monitorear las condiciones del agua (PH, conductividad y temperatura) que conduce los nutrientes a las plantas y, el otro para monitorear las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, índice UV e intensidad de luz); con la finalidad de controlar el ambiente por medio de protocolos que indiquen la información para el manejo efectivo del cultivo. Finalmente, al tener una buena obtención de datos para el monitoreo y mediante las pruebas de laboratorio se demostró como resultado final el correcto funcionamiento del sistema, por lo que propone la construcción de sistemas inteligentes a partir de la información suministrada por los nodos y del desarrollo de los cultivos basados en Inteligencia Artificial.

Peña (2016) realiza una búsqueda de diferentes modelos de agricultura vertical; entre ellos está el cultivo Pet tree, Verticrop, Pared con botella Horizontal y Pared con botella Vertical, con la intención de identificar la eficiencia y productividad de diferentes técnicas de agricultura vertical. En su desarrollo se pudo evidenciar que dos de los modelos pueden tener más productividad sobre el otro siendo específicamente el Verticrop y Pared con botella Vertical ya que según las pruebas y cálculos realizados las semillas germinan más rápido y estos modelos cumplen su función de manera eficiente; esto de acuerdo con diferentes parámetros como los es la calidad de producción, el tiempo de producción, el ahorro de agua, el impacto ambiental y los costos. También evidenciaron que la implementación de las dos técnicas en un cultivo puede ser más productivo aún, teniendo en cuenta las técnicas de incorporación y la influencia de nuevos diseños, los cuales garanticen beneficios y eficiencias de producción bajo las condiciones climáticas,

las limitaciones económicas, limitaciones de espacio al momento de realizar un modelo pequeño de cultivos verticales.

Mogollon y Pérez (2019) describen la agricultura vertical como un método alternativo para el establecimiento de hortalizas con el objetivo de contribuir por medio de este a una población en específico, por lo que se evidencia que la implementación de esta metodología en cultivos verticales ayuda a la optimización de espacios con el fin de obtener productos frescos en poco tiempo. Este se caracteriza principalmente por ser libre de químicos y por obtener una gran disminución de costos, la implementación de esta metodología de cultivo tuvo resultados óptimos los cuales permitieron predecir la línea de producción de la cosecha, la obtención de alimentos de una mejor calidad y reducir el impacto medioambiental.

Glasnovic en su estudio identificó el sistema de energía renovable como suministro eléctrico que puede ser aplicado a cultivos verticales para alimentar el sistema de riego por goteo; escogieron este tipo de riego debido a la rentabilidad y bajo consumo energético. Por medio de un modelado matemático y simulaciones realizan la optimización para el riego fotovoltaico con relación entre la energía de salida (hidráulica) y la energía de entrada (solar). El autor además tuvo en cuenta elementos para optimizar el proceso como el sistema de bombeo fotovoltaico, las perforaciones, el clima local, el suelo, los cultivos y el sistema de riego, con un enfoque dirigido al problema donde se considera por separado la demanda de energía hidráulica y las posibilidades de su producción. Como resultado lograron minimizar la potencia eléctrica nominal máxima del generador fotovoltaico para la optimización según la demanda de energía sobre la mejora de la eficacia de varios componentes del sistema; para ello el bombeo fotovoltaico dependen de la energía solar.

Garzón (2014) describe la importancia de tener en cuenta las características sociales y culturales al momento de desarrollar trabajos con comunidades

indígenas, para la aplicación de nuevas alternativas productivas y sostenibles, donde aplican la agricultura vertical que se enfoca en una producción a pequeña escala y con un alto valor agregado. El sistema productivo es realizado a partir de las plantas medicinales, en las que se destaca con mayor impacto en el área de medicina tradicional: El Yarumo, Carambolo y Uña de Gato. Por otro lado, es de vital importancia la identificación de los actores sociales y el reconocimiento del saber tradicional de la población sobre uso medicinal, para la valoración y conocimiento sobre las plantas. De esta manera se obtiene participación dentro de la comunidad, con el fin de determinar su grado de incidencia y la forma cómo puede impactar tanto positiva como negativamente el proceso.

5.2 Marco territorial

5.2.1 Territorio de reubicación de la comunidad indígena Balocá

En Colombia los pueblos indígenas han vivido bajo problemas estructurales como la colonización, las consecuencias del conflicto armado, proyectos que afectan sus vidas colectivas y su entorno, etc. De ahí que sus derechos constitucionales y legales se vean afectados, por lo que la Corte Constitucional ordenó al Estado, bajo el Auto 004 de 2009, formular un programa de garantías y estrategias para los 102 pueblos indígenas (Mininterior, 2019).

5.2.2 Delimitación del territorio

De acuerdo con el mapa realizado por uno de los habitantes que trabajó en el plan de salvaguarda del pueblo Pijao específicamente en el año 2014 (Mininterior, 2019), realiza unas líneas de acción donde se plantea un territorio conforme a sus necesidades y requerimientos. Por lo que definen un Territorio para su desarrollo, en donde tienen en cuenta distintos factores que ayuden a mejorar las diferentes problemáticas como la social, económica, política y cultural. Como se puede observar en el mapa satelital (figura1) del cabildo asignado se encuentra en toda la mitad del territorio demarcado por un punto rojo, en donde según la guía de plan salvaguarda del Ministerio de Interior se realiza con la finalidad de tener más

próximo diferentes zonas como lo son las ganaderas, de agricultura y quebradas, a partir de la cual se consideran dentro del territorio de reubicación (Mininterior, 2019), especificando que es diferente al territorio de asignación, el cual se mostrará más adelante con detalle.

Por lo tanto, se realiza una aproximación de la delimitación del territorio de reubicación de la comunidad Balocá con respecto al mapa a mano realizado por uno de los comuneros, en donde se identifica por medio de herramientas tecnológicas como Google Earth que este territorio tiene un perímetro de 17.15Km y un área de 15.09 Km2 respectivamente.

Figura 1. Imagen satelital del territorio de reubicación de la comunidad indígena Balocá tomado de Google Earth.

5.2.3 Ubicación geográfica

Según la Gobernación del Tolima, (2020) Natagaima es un municipio perteneciente al sur del departamento del Tolima “ubicándose entre las latitudes 03°21’46’’ a 03°42’23’’ Norte y las longitudes 74°56’00’’ y 75°18’47’’ Oeste del meridiano de Greenwich” (Mininterior, 2013). Fue fundado en 1606 por Juan de Borja, el cual su nombre procede del grupo indígena pijaos denominados ‘Natagaima’ (Mininterior, 2019). Su zona urbana principal se encuentra ubicada en la carretera Bogotá-Neiva, donde su distancia a la capital de Colombia es de 225 kilómetros y a unos 120 kilómetros de la capital del departamento del Tolima.

5.2.4 Zona de estudio

Tabla 1. Características Biofísicas de la zona de estudio

Altitud	El municipio se encuentra a una altitud de 326 msnm (Alcaldía Municipal de Natagaima).
Temperatura	La temperatura promedio de día es de 30ºC y en verano de 46 °C y temperaturas de noche que varían entre 18 a 25 °C (Alcaldía Municipal de Natagaima).
Precipitaciones	Tiene un régimen de precipitación bimodal, donde abril y mayo corresponden a los meses con mayor precipitación con un rango de 110 a 120 mm (Alcaldía Municipal de Natagaima).
Provincias climáticas	Según el ministerio del interior se forman tres diferentes provincias climáticas: templada muy húmeda, cálida muy húmeda, y cálida semiárida (Mininterior, 2019), donde la última hace referencia al sitio de estudio, la vereda Balocá.
Hidrografía	En el municipio hay una buena red de drenajes superficiales que nacen del río magdalena, las principales cuencas son: La Gran cuenca del río Magdalena, río Anchique, río Patá, quebrada Guaguarco, quebrada los Ángeles, quebrada Yacó y quebrada Chorro de Eva (Mininterior, 2019).

5.2.5 Comunidades indígenas en la zona

Según la comunidad indígena Pijaos se manifiesta que una comunidad indígena es aquella que ocupa un lugar en todo el país el cual deja un legado cultural y tiene una identificación propia respecto a la otra población por lo cual sus costumbres son diferentes marcando una organización política, cultural, social y económica diferentes (Rodríguez & Rojas, 2020).

En esta comunidad indígena Pijao como en muchas otras existen resguardos y cabildos, donde el primero se entiende como el territorio asignado a una comunidad indígena y el segundo es una entidad pública especial de las comunidades indígena en este caso Pijao (Cortés, 2018). Según la alcaldía municipal de Natagaima (2020), cuenta con una población indígena de 18.715 donde el 55% son mujeres y su conformación está dada por 21 cabildos y 27 resguardos indígenas.

5.2.6 Territorio de asignación

El cabildo se encuentra reconocido por el Ministerio del Interior y está asociado a la Asociación de Cabildos Indígenas del Tolima (Mininterior, 2019). La comunidad Balocá tiene su sede a unos treinta minutos a pie, o diez en moto (principales medios de transporte) de la zona urbana del municipio de Natagaima, la comunidad Balocá hace uso de esta zona como puntos de encuentro de los habitantes pertenecientes para diferentes actividades de interacción socioculturales y toma de decisiones como el desarrollo de actividades económicas y de subsistencia, con el fin de tener una permanencia y fortalecimiento como identidad cultural (Mininterior, 2019).

Principalmente el territorio de asignación del cabildo Balocá tiene un perímetro de 100,82m y un área de 636,77 m² aproximadamente de acuerdo a la delimitación dada en Google Earth y su ubicación se encuentra en las coordenadas 3°39'01.5"N 75°05'40.1"W a 323m sobre el nivel del mar, al noroccidente podemos encontrar la zona de los baños del cabildo, al norte se encuentra un pozo de agua con una motobomba inhabilitada, en la mitad del terreno se encuentra una choza construido con guadua y paja. En el oriente y occidente en sus dos laterales se encuentran algunos árboles que no ocupan gran espacio y al sur se encuentra la entrada al terreno con su respectiva cerca.

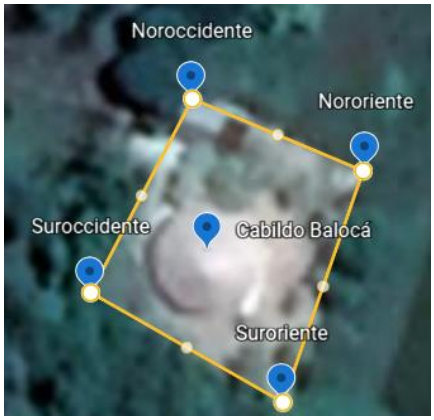


Figura 2. Imagen satelital del territorio de asignación de la comunidad indígena Balocá, tomada de Google Earth.

5.2.7 Comunidad indígena Balocá

La comunidad de trabajo en la que se focaliza el proyecto está constituida como un cabildo indígena del Tolima llamado Balocá, cuenta con un registro de reconocimiento étnico por parte del ministerio del interior (Mininterior, 2019).

Según el ministerio del interior (2019) “La comunidad está conformada por 48 familias para un total de 348 personas. De esas, 26 son niños y niñas de 0 a 5 años, 70 de 5 a 18 años, 205 son personas entre los 18 y 60 años, y hay 47 adultos mayores”.

La comunidad cuenta con la presencia de un médico tradicional y su legado está a punto de desaparecer (Mininterior, 2019), una de las tantas razones por las que se presenta este problema es porque en el momento de la reubicación y la asignación de territorio ha habido una limitación de espacio para el cultivo de plantas medicinales, por lo que se ha dejado de lado esta práctica. De igual forma, como técnicas de la implementación de estas prácticas, los conocimientos adquiridos por la experiencia del mamo está heredado a las futuras generaciones ya que lo imparte a su familia y a personas de la misma comunidad, ya sea de manera verbal o escrita.

Figura 3. Cabildo indígena Balocá.

5.3 Marco teórico

A continuación, se evidencia una revisión bibliográfica que permite identificar conceptos teóricos que son relevantes en el desarrollo del proyecto.

5.3.1 Tipos de agricultura

5.3.1.1 Agricultura tradicional

Se establece como una práctica agropecuaria cimentada a través de conocimientos indígenas transmitidos de generación en generación. El objetivo principal de este sistema agrícola es el autoconsumo el cual es impulsado por la diversidad vegetal en policultivos buscando tener un rendimiento a largo plazo con el uso de técnicas rudimentarias y antiguas sin la necesidad de emplear tecnologías (Mariano, 2018).

5.3.1.2 Agricultura ecológica, orgánica o biológica

Sistema de producción agraria mediada entre la agricultura ecológica y la agricultura industrial o convencional. La Producción Integrada, a diferencia de la Producción Ecológica, permite la utilización de productos agroquímicos de síntesis (abonos, pesticidas), si bien se busca hacer un uso mínimo de los mismos, y éste está restringido en las Normas Técnicas específicas de producción para cada cultivo, y sólo permitida si no existen otras alternativas viables (Agroboca, 2021).

5.3.1.3 Agricultura de producción integrada

Sistema de producción agraria mediada entre la agricultura ecológica y la agricultura industrial o convencional. La Producción Integrada, a diferencia de la Producción Ecológica, permite la utilización de productos agroquímicos de síntesis (abonos, pesticidas), si bien se busca hacer un uso mínimo de los mismos, y éste está restringido en las Normas Técnicas específicas de producción para cada cultivo, y sólo permitida si no existen otras alternativas viables (Agroboca, 2021).

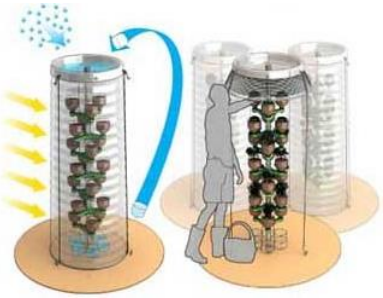
5.3.1.4 Agricultura vertical

Es uno de los conceptos más viables para la plantación en espacios reducidos con el objetivo de generar una mayor producción. Acogiendo diferentes usos de tecnología para los sistemas de aplicación. Con la intención de producir alimentos y plantas medicinales en capas apiladas verticalmente, superficies inclinadas y / o integradas en otras estructuras (Barón, 2019).

Es un modelo útil ya que ahorra agua y no requiere cantidad considerable de fertilizantes ni pesticidas y herbicidas porque se asocian con hortalizas y hierbas medicinales permitiendo alejar las plagas y enfermedades de tipo agrícola, además de su gran impacto visual y ambiental (Carranza, 2013). Adicionalmente son cultivos de implementación económica ya que los materiales usados son de fácil acceso y la mano de obra es mínima (Quimbay et al).

Su sistema de riego varía dependiendo el tipo de planta y tamaño del huerto además hay que asegurar un buen drenaje ya que puede generar hongos e infecciones en las raíces, es de suma importancia recalcar el uso de un filtro para el agua que contiene sedimentos naturales como hojas secas (Vargas., 2020). Existen varios métodos de agricultura vertical descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de agricultura vertical

Sistemas de cultivo vertical	Descripción
Pet-Tree 	Su diseño consta de un sistema alternativo a las plantaciones de cultivo orgánico tradicionales, el cual se piensa en la incorporación de reciclaje de botellas PET de 5 litros. Está dirigido a pequeñas áreas, con un menor uso de agua (a través de la continuidad del ciclo del agua dentro del sistema, eliminando las pérdidas de agua). La estructura está formada por un multinivel de forma geométrica.
Verticrop	Diseñado para crecer en cualquier clima, utiliza sólo una fracción de los recursos necesarios para

	la agricultura de campo. Los rendimientos son aproximadamente 20 veces mayores que el volumen de producción normal de los cultivos de campo, Verticrop requiere sólo el 8% del consumo normal de agua utilizada para el riego de cultivos extensivos, funciona en tierras no cultivables y cerca de los principales mercados o centros urbanos no requiere el uso de herbicidas o pesticidas dañinos. Capaz de crecer más de 50 variedades de hortalizas de hoja verde. Proporciona productos de mayor calidad con un mayor valor nutricional y una vida útil más larga.
Clepsydra 	Clepsydra es un diseño vertical. Está planteado como una arquitectura prefabricada. Con el objetivo de un mayor abastecimiento directamente de alimentos frescos, aunque también serviría para otro tipo de cultivos (plantas medicinales, flores, investigación). Mediante procesos de filtrado apropiados, se puede hacer uso de las aguas residuales. Otro aspecto destacable es que garantiza niveles similares de producción en cada piso. Eso lo consigue mediante un diseño pasivo que aprovecha al máximo la luz natural. También hace uso de iluminación artificial alimentada por energía solar (con paneles en cubierta). Como se puede apreciar, este interesante concepto tampoco se olvidó de las energías renovables.

Fuentes: (Gürsu, 2017) (Peña, 2016), (Verticrop, 2018) (Peña, 2016), (Gómez, 2018) (Peña, 2016).

5.3.2 Estructura para cultivos

5.3.2.1 Cúpula geodésica

Es una estructura ensamblada con triángulos que es la geometría con gran estabilidad y fuerza para la fabricación de estructuras, con la peculiaridad que cuanto más grandes son y más número de elementos la componen, más resistentes se vuelven (Carbonell, 2015).

Existen diferentes tipos de cúpulas geodésicas y pueden llegar a ser muy complejos, normalmente por el tipo de material utilizado en la estructura; madera, aluminio, y el bambú como poco común. Disponen de poco peso con relación a elementos estructurales cotidianos. Su forma cumple el teorema de poliedros de

Euler (Define la relación entre el número de aristas, caras y vértices de un poliedro convexo) (Carbonell, 2015).

5.3.2.2 Malla sombra y casa sombra

Es una estructura de metal o madera recubierta por malla anti-insecto de polietileno, polipropileno o poliéster donde su duración puede estimarse de 4 a 10 años dependiendo el material, es implementada para disminuir la cantidad de energía solar que llega a los cultivos (Juárez et al., 2011). Este tipo de infraestructura permite la entrada de agua al interior disminuyendo afectaciones de plagas y granizos, ayudando a mantener un cultivo por más tiempo para su producción y evitando el daño al cultivo por factores ambientales externos. (INIFAP 2013), están compuestos por una tela tejida de plásticos con cuadros entramados de diferentes tamaños y es óptima para grandes cultivos (Juárez et al., 2011).

5.3.3 Sustrato

Definido como la tierra necesaria para las plantas, está hecho con base de turbas u otros materiales que sirven de ambiente para las raíces el cual puede ser poroso y distinto al suelo in situ o natural; este permite el anclaje del sistema radicular por lo cual tiene una intervención importante para el soporte y nutrición de la planta. Cabe mencionar que mediante técnicas como el compostaje los sustratos transformados tienen tendencia a facilitar el crecimiento de los cultivos (Cruz., et al., 2013).

5.3.3.1 Tipos de sustrato

Turba

Materia orgánica relativamente descompuesta la cual proviene de la capa superficial del suelo; su formación más temprana es constituida por carbón a partir de la desintegración de la vegetación. La turba se forma cuando se evita que el material vegetal se descomponga por completo y cuando existe saturación de agua (Kristofersonk., et al.,1986).

Está compuesta por un porcentaje de materia orgánica de 80 a 90%, 4 a 20% de cenizas y con un contenido de humedad superior al 75%. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 60 a 120 meq/l. Se encuentran componentes beneficiosos, como son los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, entre otros. (Bioespacio, 2017).

Son muy utilizados debido a su capacidad de retención de agua, porosidad, densidad aparente, además de tener una buena disponibilidad de nutrientes y con una fuente de liberación lenta de nitrógeno, además con un buen efecto amortiguador que permite equilibrar el pH y las sales solubles (Bioespacio, 2017).

Mantillo

Compuesto por residuos orgánicos variables con tamaño de partículas heterogéneo, procedentes de las capas superficiales de los bosques. Se puede usar directamente o después de “compostaje”. El contenido de materia orgánica está alrededor del 60% y el de cenizas del 40% (Bioespacio, 2017).

Residuos de madera

Las industrias de la madera y del papel sacan sustrato de sus residuos que tiene como finalidad el aserrín, el “compost” de cortezas, virutas de pino, etc.

Cabe resaltar que su alta relación Carbono/Nitrógeno provoca una acentuada inmovilización de N del sustrato, que puede causar poca producción. Esto se resuelve con adiciones de N de liberación lenta o sometiendo estos productos a tratamientos de descomposición (Bioespacio, 2017).

Cascarilla de arroz

Se emplea de manera directa y tiene un 87% de materia orgánica y 13% de cenizas (Bioespacio, 2017).

Otros tipos de sustrato

Existen otro número de materiales disponibles localmente y que pueden ser empleados como sustratos: bagazo de azúcar de caña, hojas secas de cafeto, residuos de café, raíces de jacinto de agua, algas marinas (Bioespacio, 2017).

5.3.3.2 Propiedades físicas de los sustratos

Espacio poroso total

Indica aquel espacio que no tiene una ocupación por el material sólido y que puede estar ocupado por aire y agua y debe ser mayor a 85% ya que indica la capacidad de retención de aire y agua (Cruz et al., 2013).

Capacidad de aireación

Indica la proporción de aire que hay en el sustrato y es de suma importancia debido a que las especies a cultivar tienen diferentes necesidades de aireación y debe estar comprendido entre el 10 y 35%. Depende del tamaño de las partículas que son utilizadas en el medio de crecimiento, así como de la forma (Cruz et al., 2013).

Capacidad de retención de agua

Corresponde a la cantidad de agua que es retenida por el sustrato después de haber sido drenada. Depende directamente del tamaño de la partícula que es utilizada en el crecimiento. Cabe resaltar que las partículas mayores a 0.5 mm incrementan la porosidad total disminuyendo la retención de agua, si es así el tamaño de la partícula tendrá que ser modificado para así obtener propiedades físicas óptimas (Cruz et al., 2013).

Densidad aparente

Indica la masa seca que está contenida en un cm3 de cultivo y depende directamente de la compactación y del tamaño de la partícula. Es de suma importancia ya que al determinarse se pueden evaluar volúmenes y costos necesarios para un cultivo en específico (Cruz et al., 2013).

Densidad real

Se define como el cociente entre la masa de las partículas de cultivo y el volumen que ocupan; no tiene en consideración los poros y huecos y no tiene dependencia del grado de compactación ni del tamaño de la partícula (Cruz et al., 2013).

Texturas

La textura está dada por los componentes de arena, limo y arcilla, estos tienen partículas estructurales agrupadas de diferentes formas (granular, en bloque, prismática, laminada o maciza) presentes en la turba, perlita, vermiculita, corteza, coco en trozos, fibra de madera, arena, etc. Y son de tamaños diferentes como grueso, medio o fino. El tamaño de las partículas depende de la naturaleza de cada componente (Chen, 2021).

Se tienen en cuenta las diferentes texturas para identificar las condiciones del lugar y tener en cuenta las condiciones adecuadas para la siembra de las plantas medicinales y de esta manera cumplir con los requerimientos descritos. Por medio de este (hipervínculo) se puede vincular a una tabla de identificación de texturas.

5.3.4 Plantas medicinales

Son aquellas especies silvestres y semisilvestres que son cultivadas con la finalidad de darles uso a sus propiedades para el tratamiento o prevención de diferentes patologías sean animales o humanas, por lo cual son empleadas como medicamentos; los principios activos son los que interfieren en los efectos de dicha enfermedad por lo que se le confiere una cualidad medicinal tradicional. En Colombia, este tipo de conocimiento se enfoca en los grupos indígenas debido a sus experiencias con la biodiversidad, la naturaleza, la vida, el territorio y la salud (Bernal et al, 2011).

5.3.4.1 Plantas medicinales en la comunidad indígena Balocá (*Lippia alba* y *Petiveria alliacea)*

Rodríguez (2017) presentó mediante un muestreo en la zona que las especies con mayor valor de importancia relativa son:

Tabla 3. Descripción de las plantas de uso medicinal sembradas en los cabildos indígenas pertenecientes al municipio de Natagaima- Tolima.

Denominación común	Denominación científica	Criterios del sustrato			Requerimiento lumínico	Separación mínima entre plántulas	Altura de crecimiento promedio	Tipo de suelo	Frecuencia de riego	Duración para la primera cosecha
		pH	Temperatura del sustrato	Humedad						
Sábila	*Aloe vera L.*	6 - 6.5	17 - 27 °C	65 - 85%	Intemperie (luz directa)	0.70 m	1 m	Arenosos, Franco arenosos y franco arcillosos	Semanal	9 meses
Pronto alivio	*Lippia Alba*	5 - 6	15 - 32 °Cf	80 - 90%	Intemperie (luz directa)	0.5 m	2 m	Arcillosos y limosos	Cada 2 - 3 días	60 - 100 días
Flor de muerto, Cempoal	*Tagetes sp.*	6 - 7	22 - 26 °C	80 - 90%	Intemperie (luz directa)	0.05 - 0.1 m	0.15 - 1.8 m	Arenosos y arcillosos	Cada 2 - 3 días	60 días
Anamú, Ajillo, zorrillo	*Petiveria alliacea.*	5 - 6	18 - 30 °C	80 - 100%	Sombra	0.4 m	1 m	Arcillosos, franco arcillosos, volcánicos	Cada 2 días	90 días
Tártago	*Euphorbia lathyris*	6 - 8	> 10 °C	40 - 80%	Intemperie (luz directa)	0.3 m	0.25 - 0.65 m	Arenosos, limosos	Según condiciones del suelo	110 a 120 días
Marihuana	*Cannabis sativa*	6 - 7	20 - 26 °C	40 - 70%	Intemperie (luz directa)	1 m	7 cm - 4m	Limosa, margosa y arcillosa	Cada 2 - 3 días	120 días
Caléndula	*Calendula officinalis*	4 - 8	18 - 24 °C	40 - 70 %	Sombra	0.1 - 0.35m	0.3 - 0,6 m	limosos, arcillosos y franco arcillosos	Todos los días	100 días

Fuentes: (Bonilla R, 2004) (Duarte,2010) (Beltran,2013) (CREA, 2003) (Santiago ,2007) (Garces, 2010) (Bonilla,2018) (Guzmán, 2004) (Pichardo Y Bibrans, 2009) (Angel.M, 2014) (Méndez. E, 2009) (Ocampo.R, 2012) (Díaz.J, 2003) (Ministry of Agriculture, 2012) (Madeleine.E, Olwen.M, 2015) (Angeles et al., 2014) (Rodríguez et al., 2001) (Casierra et al., 2012)

Lippia alba

Nombre científico: *Lippia alba*

Nombre conocido por la comunidad: Prontoalivio

Usos terapéuticos: Han sido usadas con fines antiespasmódicos y otros fines terapéuticos, mediante la cocción de sus flores y hojas. Además, han sido

reportados en Colombia usos etnobotánicos como sedante, antidiabético, diurético, emenagogo, como desinfectante en forma de baños, para trastornos digestivos e hipertensión (Bonilla R, 2004).

Estaciones climáticas: Se desarrolla en regiones sin exceso de calor o frío, con temperaturas de hasta 25-32°C (Bonilla, 2018).

Requerimientos de humedad: Se puede encontrar en climas cálidos húmedo, cálido seco y templado; Cuando se realiza siembra directa con estacas, el terreno debe tener buen contenido de humedad; si se disponen estacas enraizadas para trasplante deberán mantenerse bajo sombra y húmedos antes de ser llevados a campo (Bonilla, 2018).

Tipo y frecuencia de riego: Si la siembra se realiza durante periodos secos es recomendable aplicar riegos por aspersión, cada dos días, por un periodo de 30 minutos aproximadamente y después semanalmente por espacio de una hora (Bonilla, 2018).

Nutrientes de suelo: el cultivo requiere las siguientes cantidades de nutrientes.

Tabla 4. Requerimientos nutricionales de la Lippia alba.

Nutrientes	**Requerimiento (Kg/ha)**
Nitrógeno (N)	80 – 130
Fósforo (P)	24 – 30
Potasio (K)	113 – 138
Calcio (Ca)	102 – 150
Magnesio (Mg)	20 – 30
Azufre (S)	12 – 17

Fuente: (Bonilla, 2018).

Tiempo de producción (cosecha): Las hojas se recogen cuando han llegado a su máximo desarrollo, un poco antes de la floración. Se procede entonces a cortar las ramas que se dejarán secar a la sombra, al abrigo del polvo y la humedad, hasta el momento en que se desprende de sus hojas (Bonilla R, 2004).

Petiveria alliacea

Nombre científico: *Petiveria alliacea*.

Nombre conocido por la comunidad: Anamú

Usos terapéuticos: Analgésico-antipirético, antiinflamatorio, anestésico, antiespasmódico, anti dispéptico, hipoglucemiante, inmunoestimulante, antitumoral y antimicrobiano (Duharte et al., 2011).

Estaciones climáticas: Hierba propia de sitios sombreados, en las regiones húmedas y secas de ambas vertientes (Diaz.J, 2003).

Requerimientos de humedad: Es característica de suelos húmedos e inundables, cuando crece a la orilla de la costa (Diaz.J, 2003).

Tipo y frecuencia de riego: Se realiza 4-5 veces por semana en la época más cálida y seca, y unas 2-3 veces el resto del año (Diaz.J,2003).

Tipo de suelos: Esta hierba se caracteriza por su adaptación a suelos arcillosos, franco arcillosos y volcánicos, los suelos inundados favorecen su crecimiento. (Diaz.J., 2003) (Ocampo.R., 2012).

Tiempo de producción: Semilla almacenada en condiciones naturales por 90 días, germinó en 50%; al mes de siembra tenía 4 hojas y 2.5 cm de altura promedio (Diaz.J., 2003).

5.3.5 Riego

5.3.5.1 Riego por goteo

Este método se logra cuando se humedece el suelo de manera directa debido a fuentes de agua que están distribuidas en una parcela, están caracterizados por tener una baja descarga del líquido generalmente entre uno y diez L/h/metro, la presión de operación oscila entre los 5 y 15 PSI y por hora normalmente se va entre 2 a 10 litros de agua, este método aplica pequeños volúmenes de agua en intervalos cortos por medio de emisores que son instalados de manera puntual, el agua es conducida desde su depósito a través de tuberías para ser liberada gota a gota (Briceño et al, 2012).

5.3.5.2 Riego por aspersión

Según Briceño, et al., (2012) este método es aquel donde el agua es lanzada al aire por presión y cae en forma de lluvia en el terreno deseado, su eficiencia es del 85% en sistemas bien diseñados, su vida útil puede durar hasta los 25 años y su costo de mantenimiento es económico y sencillo. La presión mínima de operación de un aspersor pequeño es de 25 PSI y su alcance va desde los 4 hasta los 16 metros de radio de humedecimiento; cabe resaltar que en los cultivos hortícolas no es viable debido a las enfermedades fungosas.

5.3.5.3 Riego por gravedad

Su característica principal radica en la distribución de agua en el suelo, su funcionamiento radica en la gravedad a medida que avanza el agua por una pendiente se produce la distribución de agua simultánea por la parcela, esto puede ser por medio de tuberías que funcionan a baja presión por lo general presenta una menor eficiencia que los otros métodos ya mencionados, adicionalmente los cultivos de la parte baja pueden verse afectados por inundaciones si no se cuenta con un adecuado drenaje lo que puede provocar pérdidas de nutrientes, se requiere una mano de obra especializada y no es viable

para la automatización, además que el agua utilizada es en grandes cantidades (Briceño, et al., 2012).

5.3.5.4 Riego con emisores

Emisores móviles

Consisten en alas de riego móviles que se desplazan de manera frontal es el sistema de riego por aspersión más eficiente debido a que el agua es aplicada en un patrón lineal únicamente sobre el cultivo evitando desperdicios de agua, además el flujo, el volumen y la velocidad de riego van adecuadas de manera automatizada a cada tipo de cultivo dependiendo el tipo de requerimiento de la planta (Kasten, et al., 2012).

Emisores fijos suspendidos

Consiste en una serie de líneas construidas por lo general con tubos PVC que son ubicados en intervalos formando una red uniforme, su distribución de agua es rápida y si tiene una distribución adecuada es eficiente; por lo general sus áreas de riego son independientes y el tamaño depende de la bomba que se utilice y la presión que esta pueda generar, puede ser conectado a un tiempo para programar la duración y secuencia de riego y se diseña dependiendo la necesidad de cada cultivo por lo que se puede realizar la partición en la misma área dependiendo si los requerimientos de agua son diferentes (Kasten, et al., 2012).

Emisores fijos basales

Utilizados en grandes áreas de crecimiento utilizan una red de líneas de riego que puede ser permanente o móvil su diferencia con los emisores fijos suspendidos radica en que giran lentamente debido a un brazo que contiene un resorte que genera un movimiento alterno dentro que es impulsado por la presión del chorro de agua que sale a través de la boquilla, la distribución de agua depende propiamente de la presión que se le suministre al agua y es viable para grandes cultivos debido a que ahorra en la compra de materiales (Kasten, et al., 2012).

5.3.6 Energía solar

5.3.6.1 Irradiación solar en el territorio

Gracias a su posición geográfica el departamento del Tolima es un territorio favorable para la generación de energías alternativas, especialmente la energía solar, teniendo en cuenta el mapa de radiación de la zona que emite el IDEAM que se puede observar más adelante (Cortolima, 2017).

5.3.6.1.1 Irradiación solar en el Tolima

Se muestra la energía solar de onda corta incidente total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia según datos del IDEAM, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos se observa que la radiación varía entre 4,5 y 5,0 KW/m2. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta. La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año (Cortolima, 2017).

5.3.6.1.2 Irradiación solar en Natagaima

El período más alto se observa en el mes de septiembre y febrero y el periodo más bajo se observa en diciembre rozando en 4,0 KW/m2; pero como se puede ver ninguno disminuye de 4,0 KW/m2.

Como se puede evidenciar en la Tabla 5 la irradiación máxima y mínima es indicada por las barras promedio dadas mensualmente dando como respuesta a un promedio anual de 4.97KW/m2.

Tabla 5. Irradiación por meses en el municipio de Natagaima - Tolima.

Entidad	Valores Promedio (KWh/m2 por dia)												Promedio Anual (KWh/m2 por dia)	Años de Información	Fecha Inicio	Fecha Final
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
IDEAM (aut.)	4.4951	5.2942	4.7749	5.1061	4.7616	5.0563	5.1653	5.2065	5.6661	5.2461	4.843	4.0974	4.9761	8	oct-05	jul-14

Fuente: (Energie, 2020) https://www.energie.ws/datos-radiacion-solar-colombia-atla

5.3.6.2 Tipos de energía

5.3.6.2.1 Energía eólica

El viento constitux|1ye uno de los elementos fundamentales en el campo del conocimiento atmosférico, permite identificar el estado dinámico del aire y se reconoce como el aire en movimiento. (CELSIA TOLIMA, 2018)

Dada su importancia, como medio básico en la producción de energía eólica, resulta de especial interés conocer su origen, propiedades y relaciones físicas, a fin de poder disponer de los elementos de análisis inherentes a su caracterización climatológica regional, local y nacional. Así como también de los principios esenciales en la evaluación del potencial energético del recurso eólico (CELSIA TOLIMA, 2018).

5.3.6.2.2 Energía de la biomasa

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Potencial que existe para la generación de biomasa (combustible) a partir del uso de cascarilla de arroz (CELSIA TOLIMA, 2018).

5.3.6.2.3 Energía hidráulica

El IDEAM ha explicado que la riqueza hídrica del territorio colombiano obedece a la ubicación geográfica y la influencia de factores como la circulación atmosférica, la topografía, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de las zonas selváticas. Por su ubicación geográfica, Colombia está bajo la influencia de los vientos alisios del noreste y del sureste, que concurren en una franja denominada “zona de confluencia intertropical”, que favorece la formación de nubosidad (Ingfocol Ltda, 2014). La energía hidráulica o energía hídrica se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potencial de la corriente del agua o

los saltos de agua naturales. En el proceso, la energía potencial, durante la caída del agua, se convierte en cinética y mueve una turbina para aprovechar esa energía (Twenergy, 2019).

5.4 Marco legislativo

5.4.1 Marco reglamentario para cabildos indígenas

Es importante destacar aquellas leyes que dispone el gobierno colombiano para comunidades indígenas con la finalidad de promover el derecho al desarrollo debido a que eso afecta de manera directa en sus vidas, costumbres y cultura (MinInterior, 2020).

Proyecto de ley C485 de 2020

Modificación de la ley 80 de 1993 y la ley 1150 del 2007; se resalta el reconocimiento y protección de la diversidad étnica y cultural de la nación.

Artículo 7: Donde los pueblos indígenas tienen el derecho de decidir el proceso de desarrollo de acuerdo con sus prioridades, a medida que tenga una afectación directa o indirecta en sus vidas, creencias, instituciones y bienestar espiritual, así como de controlar las tierras que ocupan con su propio desarrollo económico, social y cultural (MinInterior, 2020).

Artículo 21: Donde se establece que los resguardos indígenas gozan de las garantías de la propiedad privada y poseen su propio territorio donde de rige el manejo de manera interna amparado por el fuero indígena y su sistema normativo propio (MinInterior, 2020).

Se enfatiza en estos dos artículos ya que el proyecto busca que exista un desarrollo social, cultural y por último económico en la comunidad donde se realizará un aprovechamiento de las tierras propias de la comunidad.

5.4.2 Marco reglamentario para especies vegetales

Para realizar una incorporación de plantas medicinales a la comunidad indígena Balocá es importante mencionar la legislación nacional que cuenta con principios y

normas que están enfocadas en la conservación, usos sostenibles, mejoramiento de la biodiversidad y protección al medio ambiente, con la finalidad de defender el bienestar y la salud de los colombianos (Fajardo y Lizcano, 2015).

Ley 23 de 1973

La presente ley establece la prevención y control de la contaminación del medio ambiente buscando el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables para poder así defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio colombiano donde se hace énfasis en el artículo 19 debido a que se busca lograr un aprovechamiento racional con una conservación de los recursos de las plantas medicinales cumpliendo los demás artículos debido a que no se busca realizar un daño o contaminación alguna al medio ambiente ni a la zona donde se plantea el proyecto (EVA - Función pública, 1973).

Ley 2811 de 1974

En la presente ley se reglamenta el manejo y aprovechamiento forestal donde se establece que toda persona tiene el derecho de gozar de un ambiente sano, donde mediante el uso de esta ley se garantizará la participación de las comunidades en las decisiones que puedan generar una afectación en el medio ambiente con el fin de proteger la diversidad biológica y así poder conservar las áreas que son de importancia ecológica, así mismo la fomentación de educación para el logro de un desarrollo sostenible cumpliendo con la conservación medioambiental (MinAmbiente, 1974).

Ley 165 de 1994

Mediante la presente se aprueba el convenio de la diversidad biológica de Río de Janeiro de 1992, donde la diversidad biológica, así como su uso sostenible debe ser justa y equitativa donde se garantiza un acceso adecuado a los recursos donde se establece que debe hacerse un uso adecuado de las tecnologías y biotecnologías. Se resalta el artículo 7 debido a que mediante revisión bibliográfica

del proyecto se pretende identificar y seguir técnicas para la biodiversidad sostenible en el área in situ (EVA - Función pública, 1994).

5.4.3 Lineamientos técnicos de medicinas y terapias alternativas según la SGSSS

Donde se considera las estrategias de OMS sobre la medicina tradicional y tienen como propósito aportar al goce efectivo del derecho a la salud de la población residente en el país, a través del fortalecimiento de estas prácticas. Estos lineamientos responden a la necesidad de visibilizar y articular la medicina tradicional a partir del reconocimiento de los antecedentes de experiencias locales que no contaron con orientaciones claras, las experiencias en curso, las experiencias internacionales, el concepto de expertos, el marco normativo y los requerimientos sociales (Minsalud, 2018).

5.4.4 Marco reglamentario de energías renovables

Se resalta la importancia del desarrollo y la promoción de las fuentes de energía no convencionales enfatizando en las de carácter renovable.

Ley 1715 del 2014

Mediante la presente ley se busca que exista integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional lo que promueve un uso eficiente de la energía como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, así como la reducción de gases invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (MinEnergia, 2014).

Se hace énfasis en la generación energética y desarrollo sostenible, debido a que se busca atender las necesidades propias del cabildo indígena Balocá, mejorando la calidad de vida de los integrantes de la comunidad teniendo en cuenta su bienestar social sin deteriorar la ambiente in situ (MinEnergia, 2014).

Decreto 2469 del 2014

Se establece que el auto generador de energía debe cumplir que la energía sea utilizada para su propio consumo, si es alto se debe someter a regulaciones establecidas por la CREG para entrega de excedentes de energía, y su nombre pasará de manera inmediata a auto generador de gran escala (MinEnergia, 2014). Cabe resaltar este decreto debido a que el propósito final del uso de energía no convencional enfatizando en las energías renovables es de uso propio y no de venta externa a mercados mayoristas (MinEnergia, 2014).

5.4.5 Marco reglamentario para el uso sostenible de agua

Ley 373 de 1997

Por la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro del agua (DNP, 2021).

Decreto 3102

Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua (DNP, 2021).

Decreto 1873 – 2012

Por el cual se reglamenta el artículo 250 de la Ley 1450 de 2011, se crea el Mecanismo Departamental de Evaluación, Viabilizarían y Aprobación de Proyectos del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas regionales y/o departamentales que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se establecen sus requisitos y se dictan otras disposiciones (DNP, 2021).

6 METODOLOGÍA

El proyecto fue desarrollado acorde a las problemáticas identificadas y planteadas junto con la comunidad indígena Balocá, quien dispuso un terreno de 30 m2 para la implementación de especies vegetales de uso medicinal. En la *Figura 4* se evidencian las actividades que se deben realizar para el desarrollo del cultivo vertical de las plantas *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* y así dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

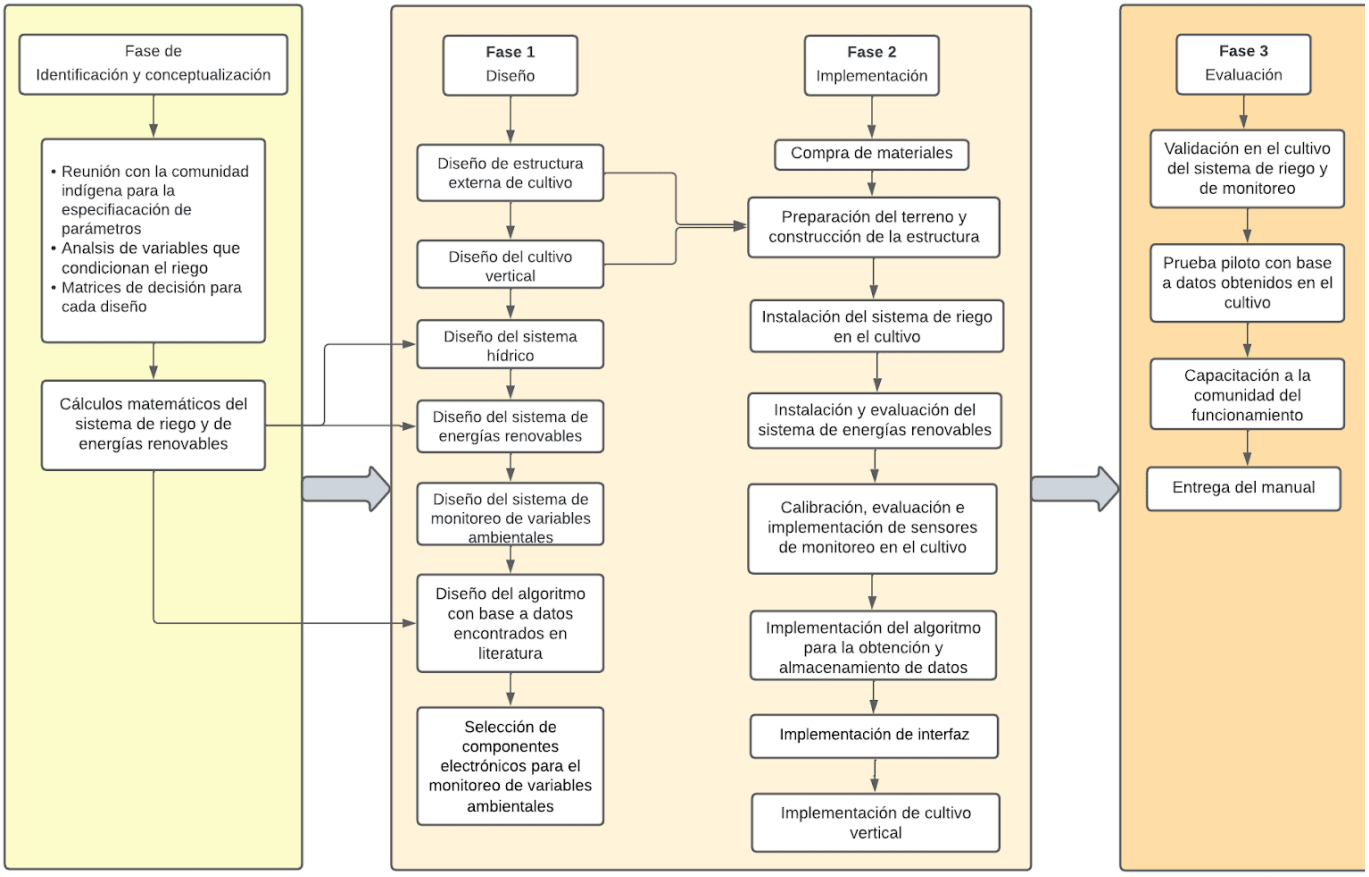


Figura 4. Objetivos específicos en fases; Fuente: (Tapia & Torres,2022).

Se realizo la caja negra con la finalidad de establecer las entradas y las salidas que deben tener el sistema implementado; de igual manera mediante el diagrama de caja gris se buscó establecer los diferentes sistemas internos que se deben ejecutar para así dar cumplimiento final al proyecto propuesto y brindar una solución a los requerimientos establecidos, esto bajo los parámetros iniciales del diseño inicial , como se puede observar en la Figura 5 y Figura 6.

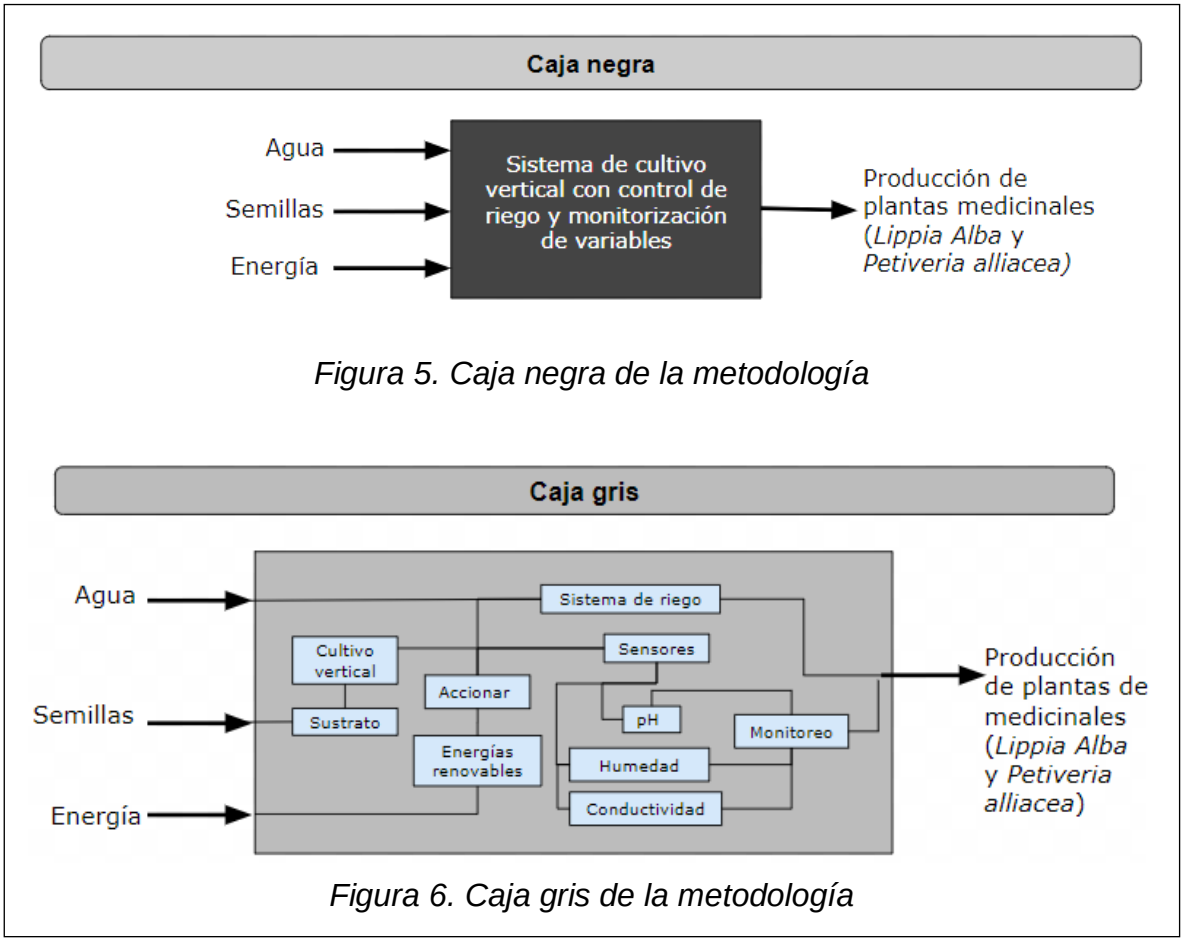


Figura 5. Caja negra de la metodología

Figura 6. Caja gris de la metodología

En el siguiente capítulo se comienza con el desarrollo de la metodología para dar respuesta a los objetivos específicos.

6.1 **Fase 1:** Primer objetivo

Para el cumplimento del primer objetivo descrito como “Diseñar una estructura para un cultivo vertical de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*, un sistema de riego y un sistema de monitoreo de variables (Humedad del suelo, pH y conductividad

eléctrica del agua) “se establecieron actividades puntuales que permitieron llegar al correcto desarrollo del diseño el cual compone la fase inicial del proyecto. A continuación, en la *Figura 7* se observa la metodología utilizada.

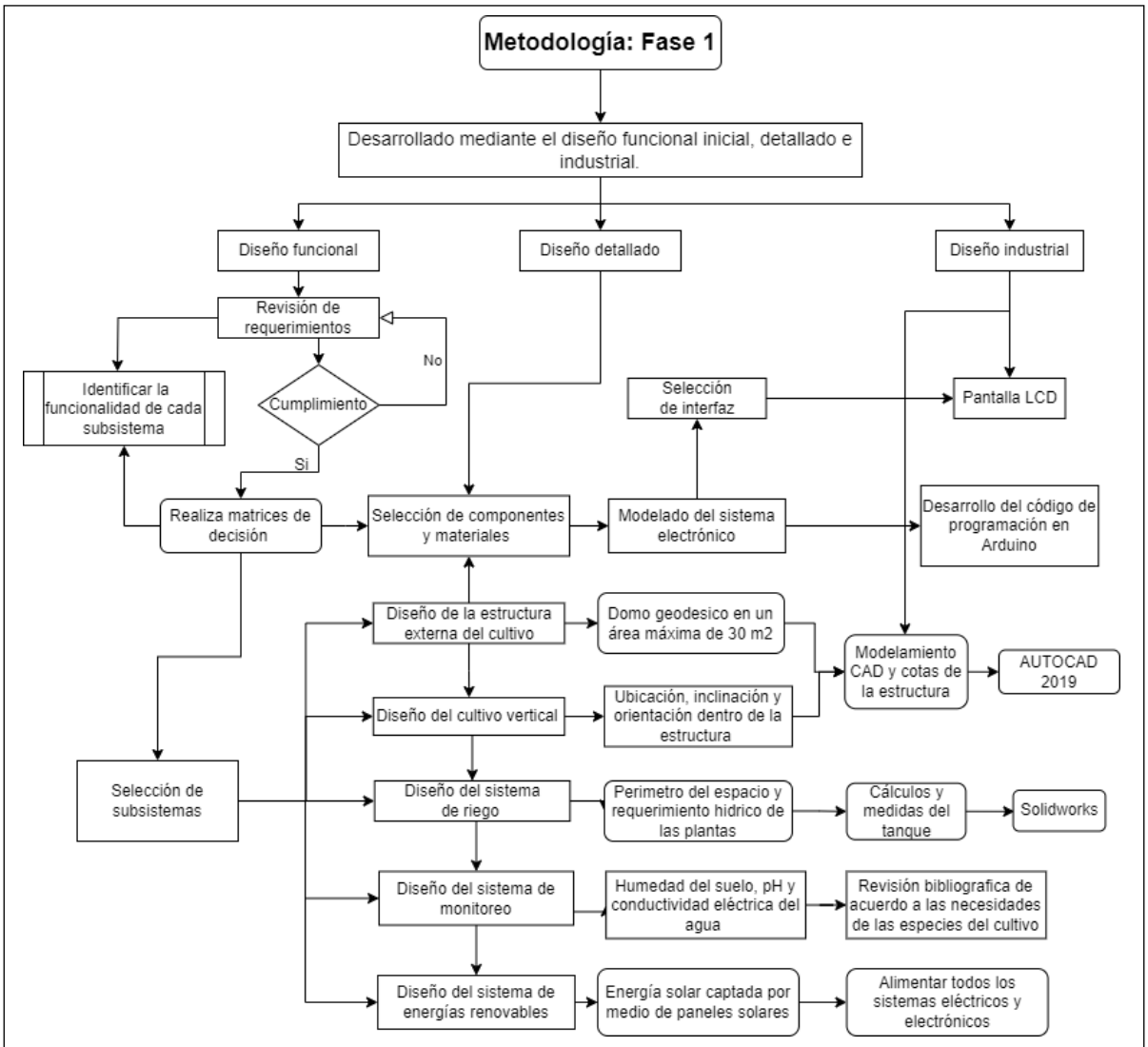


Figura 7. Metodología de la fase 1 para el primer objetivo.

6.2 **Fase 2:** Segundo objetivo

Para el cumplimento del segundo objetivo descrito como “Implementar una estructura para un sistema vertical, un sistema de riego y un sistema de monitoreo de variables (Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua) para el

cultivo de *Lippia alba* y *Petiveria aliácea* “se realizó una serie de actividades, en donde se observa la implementación de acuerdo para la implementación de los diseños anteriormente descritos. A continuación, en la Figura 8 y Figura 9 se observa la metodología de la fase 2 para el segundo objetivo.

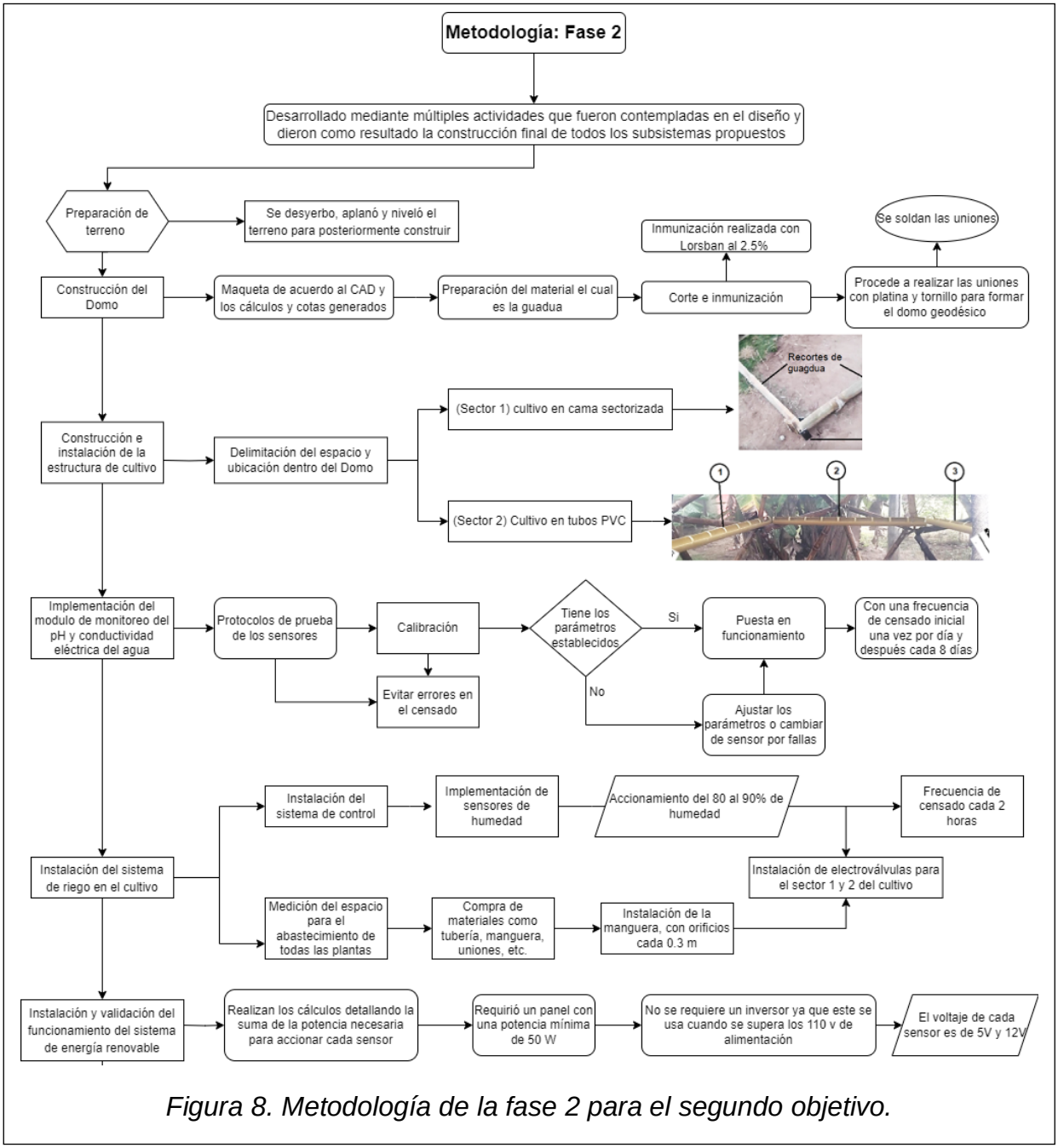


Figura 8. Metodología de la fase 2 para el segundo objetivo.

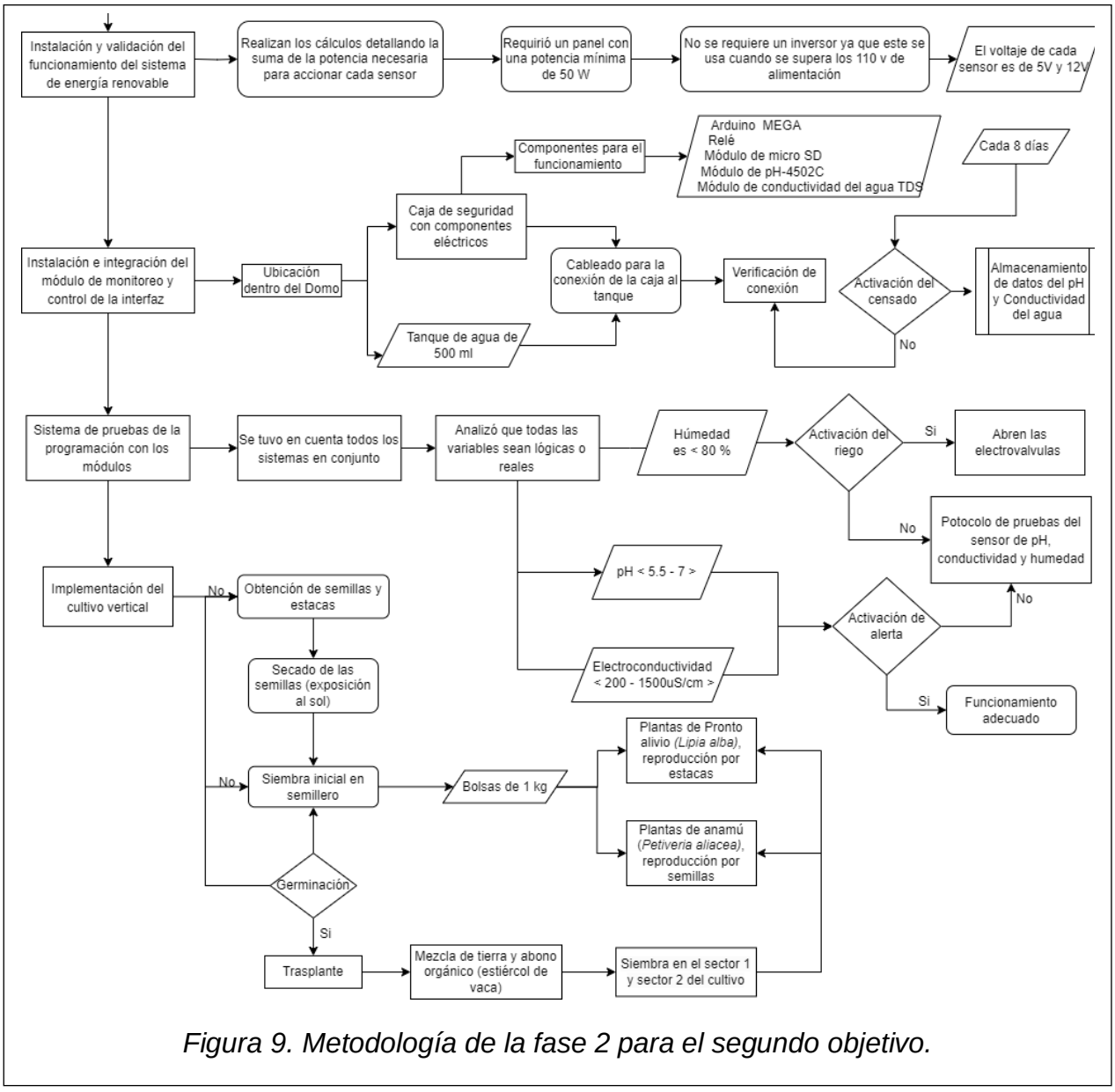


Figura 9. Metodología de la fase 2 para el segundo objetivo.

6.3 **Fase 3:** Tercer objetivo

Para el cumplimento del tercer objetivo descrito como “Evaluar el funcionamiento del sistema del cultivo en términos de producción, bajo los parámetros del área foliar, número de hojas y duración del ciclo de la *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* frente a la revisión de literatura del cultivo tradicional “se realizaron una serie de actividades que demostraron el cumplimiento con base en los resultados finales del proyecto.

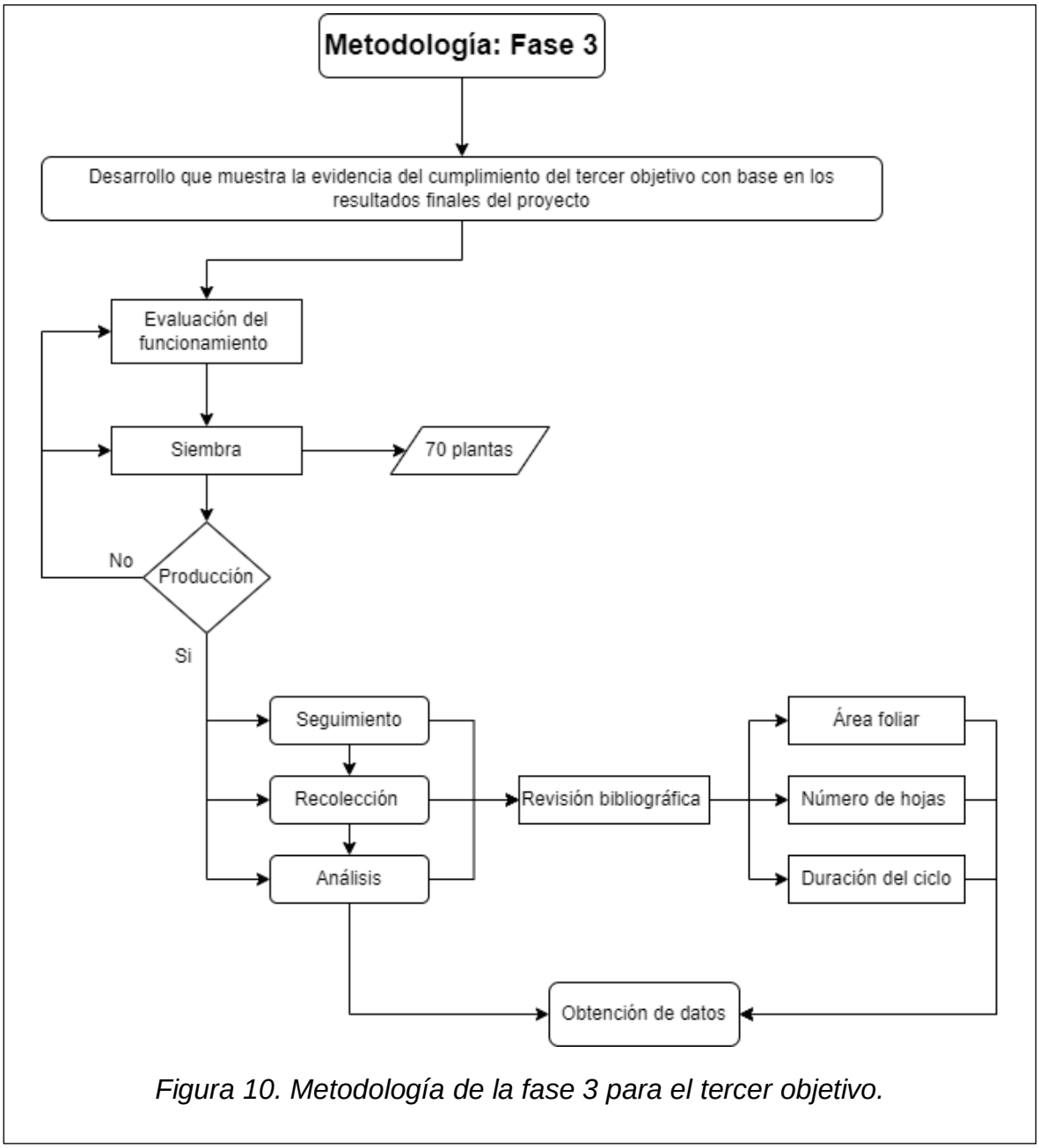


Figura 10. Metodología de la fase 3 para el tercer objetivo.

7 RESULTADOS

7.1 **Fase 1:** Primer objetivo

Para el cumplimento del primer objetivo se establecieron actividades puntuales que permitieron llegar al correcto desarrollo del diseño el cual compone la fase inicial del proyecto. A continuación, se observan los resultados obtenidos por cada actividad.

7.1.1 Reunión con la comunidad para mediciones del espacio para la estructura y para el sistema de riego

Se concertó una reunión con la comunidad, ellos otorgaron un espacio para el desarrollo del proyecto de 30m2, se hizo una breve exposición del proyecto y de manera inicial se pactó la donación de ciertos materiales tal como la guadua y semillas para el cultivo.

Figura 11. Reunión de consenso para la delimitación del espacio para la implementación del proyecto; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.1.2 Matrices de decisión para cada diseño

Con el diseño de cada subsistema se realizó en primera instancia una matriz de decisión que permitió identificar la funcionalidad de cada uno, cumpliendo con la demanda del proyecto, en donde se tienen en cuenta características fundamentales requeridas por el cultivo y el espacio, haciendo que el diseño y los requerimientos vayan de la mano.

Cuando se realizaron las matrices de decisión se obtuvieron cuatro diseños de sistemas diferentes que componen el proyecto. Cada criterio tuvo una influencia alta, media, baja y nula que está representada en la Tabla 6.

Tabla 6. Influencia según el número otorgado

Total	Influencia x peso
Influencia Alta	3
Influencia Media	2
Influencia Baja	1
Influencia Nula	0

En la Tabla 7, *Tabla 8*, Tabla 9 y Tabla 10 se observan las matrices de decisión de la estructura externa del cultivo, del sistema de cultivo, de riego y por último de energías renovables en ese mismo orden; por lo tanto, la cúpula geodésica con sistema de cultivo vertical de camas elevadas con riego por goteo alimentado a través de energía solar es el diseño seleccionado ya que es la que mayor número de incidencia tiene por matriz y que cumple con la ponderación puesta en cada criterio.

Tabla 7.Matriz de decisión de la estructura externa del cultivo

Peso	Criterios	Cúpula geodésica	Total	Muro vivo	Total	Estilo invernadero	Total
30%	Espacio delimitado por la comunidad	3	0,9	3	0,9	3	0,9
30%	Capacidad de siembra	2	0,6	1	0,3	3	0,9
15%	Protección contra depredadores	3	0,45	0	0	3	0,45
5%	Materiales de uso ecológico	3	0,15	3	0,15	3	0,15
15%	Clima idóneo con las plantas	3	0,45	0	0	0	0
5%	Diseño arquitectónico (Identidad cultural)	3	0,15	3	0,15	2	0,1
Total, influencia		2,7		1,5		2,5	

Tabla 8. Matriz de decisión del sistema de cultivo

Peso	Criterios	Verticrop	Total	Pet-Tree	Total	Clepsydra	Total	Horizontal o tradicional	Total	Camas elevadas	Total
25%	Terreno disponible de siembra, delimitado por la comunidad	3	0,75	3	0,75	3	0,75	2	0,5	3	0,75
25%	Capacidad de siembra según el terreno disponible.	3	0,75	3	0,75	3	0,75	1	0,25	3	0,75
10%	Distribución correcta del cultivo	3	0,3	2	0,2	3	0,3	3	0,3	3	0,3
15%	Altura máxima de las plantas	2	0,3	1	0,15	2	0,3	3	0,45	3	0,45
15%	Separación entre plantas	3	0,45	0	0	3	0,45	3	0,45	3	0,45
10%	Incidencia lumínica según requerimientos del cultivo	1	0,1	1	0,1	2	0,2	1	0,1	2	0,2
Total influencia		2,65		1,95		2,75		2,05		2,9	

Tabla 9. Matriz de decisión del sistema de riego del cultivo

Peso	Criterios	Goteo	Total	Aspersión	Total	Gravedad	Total
20%	Terreno disponible de siembra, delimitado por la comunidad	3	0,6	2	0,4	3	0,6
15%	Eficiencia (Cantidad de agua por m2 o por planta)	3	0,45	0	0	0	0
15%	Tipo de cultivo (Camas elevadas)	3	0,45	0	0	2	0,3
10%	Mantenimiento	3	0,3	2	0,2	3	0,3
15%	Energía que se requiere para alimentar el sistema	3	0,45	1	0,15	3	0,45
15%	Frecuencia de riego de las plantas seleccionadas (*Lippia alba* y *Petiveria alliacea*)	3	0,45	3	0,45	3	0,45
10%	Área del cultivo por planta (*Lippia alba* y *Petiveria alliacea*)	3	0,3	2	0,2	2	0,2
Total, influencia		3		1,4		2,3	

Tabla 10. Matriz de decisión del sistema de energías renovables

Peso	Criterios	Energía solar	Total	Energía eólica	Total	Energía biomasa	Total	Energía hidráulica	Total
25%	Eficiencia energética según ubicación geográfica	3	0,75	3	0,75	2	0,5	1	0,25
25%	Disponibilidad y accesibilidad de energía renovable	3	0,75	3	0,75	2	0,5	1	0,25
15%	Cantidad de energía producida debe ser mayor o igual a la cantidad de energía gastada	3	0,45	3	0,45	1	0,15	3	0,45
10%	Mantenimiento	3	0,3	1	0,1	1	0,1	2	0,2
15%	Impacto ambiental (afectaciones en la fauna)	3	0,45	2	0,3	2	0,3	1	0,15
10%	Vida útil	3	0,3	3	0,3	1	0,1	2	0,2
Total influencia		3		2,65		1,65		1,5	

7.1.3 Diseño del domo (modelamiento CAD con cotas de la estructura).

En primera instancia se modela un pentágono que contiene las medidas observadas en la Figura 12, este pentágono tiene una estructura interna que permite soportar el peso de la parte superior, además que permite tener una mejor estabilidad, por lo cual es replicado 5 veces con la finalidad de modelar, los lados del domo geodésico y el techo.

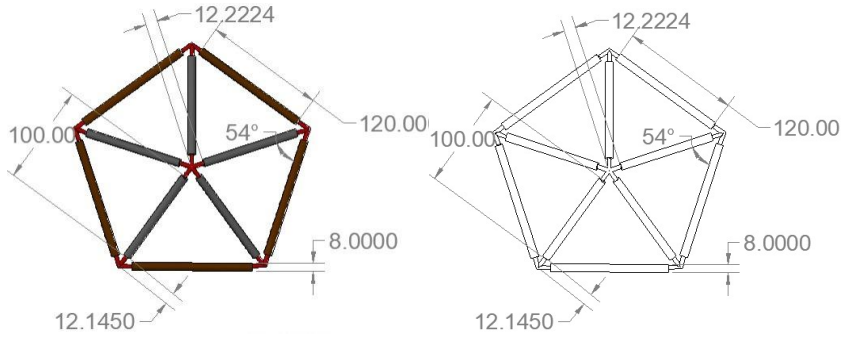


Figura 12. Acotamiento del pentágono inicial del diseño realizado en AutoCAD, (medidas en cm); Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Al momento de realizar las respectivas uniones se observa la estructura final que contiene un acotamiento (delimitación) con las medidas totales evidenciado en la Figura 13, de una altura máxima de 2.30 cm y un área aproximada de 25 m2 lo cual está dentro del margen de espacio que la comunidad indígena otorgó.

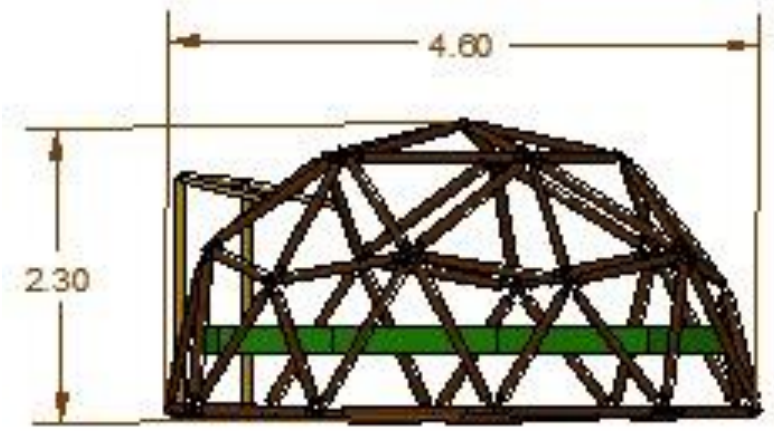


Figura 13. Diseño de la estructura final (Medidas en m); Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Finalmente se evidencia la estructura final en la Figura 14, las medidas obtenidas del diseño CAD son visibles en la Tabla 11 las cuales fueron utilizadas en el momento de la construcción del domo.

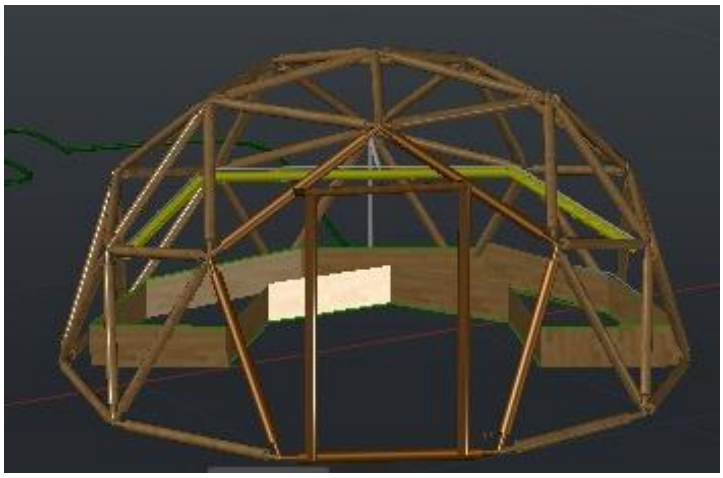


Figura 14. Estructura externa final del Domo; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Tabla 11. Medidas de acotamiento (delimitación) obtenidas del diseño CAD

	No de pentágono realizados	Parte externa del pentágono	Parte interna del pentágono	Unión interna del material	Unión externa del material
Pentágono de base	5	120 cm	100cm	8 cm	12 cm
Pentágono puerta	1	120 cm	___	8 cm	12 cm

Cabe resaltar que mediante el diseño se determina la cantidad de material necesario para el domo con su respectivo corte, detallado específicamente en la Tabla 12, donde se evidencia que el total de guadua para la estructura es de 66 metros y para las uniones se necesita un total de 24 metros.

Tabla 12. Material requerido para la implementación de la estructura externa del domo y sus cortes correspondientes según el diseño

Pentágonos		Uniones	
No de pentágonos	6	No de pentágonos	6
Medida parte externa	120 cm	Medida total	20cm
Cortes	30	Cortes por pentágono	20
Medida parte interna	100 cm	------	------
Cortes	30	------	------
Total, de material	6600 cm	Total, de material	2400 cm

7.1.4 Diseño del cultivo vertical (inclinación, orientación, lugar dentro de la estructura)

Las medidas de los planos del cultivo se tuvieron en cuenta de acuerdo con las necesidades básicas del crecimiento ideal de las plantas *Lippia Alba* y *Petiveria alliacea* (Tabla 3), así como su crecimiento radicular y la altura de corte de cada una. Para el posicionamiento de cada planta fue ideal guiarse de la estructura externa del cultivo, para de esta manera saber la capacidad de plantas dentro del domo para su respectiva ubicación.

De Acuerdo con las medidas predeterminadas del área ocupada para el domo geodésico, se utilizó la estructura dentro de este que está conformado por el sector I y II como se observa en la Figura 15 el cual soportó el cultivo vertical. La sección II se encuentra en la parte de arriba de la sección I a 1 metro de altura para el crecimiento adecuado de las plantas a sembrar. Las medidas obtenidas fueron calculadas con el programa de diseño en 3D AUTOCAD 2019 (unidades en metros).

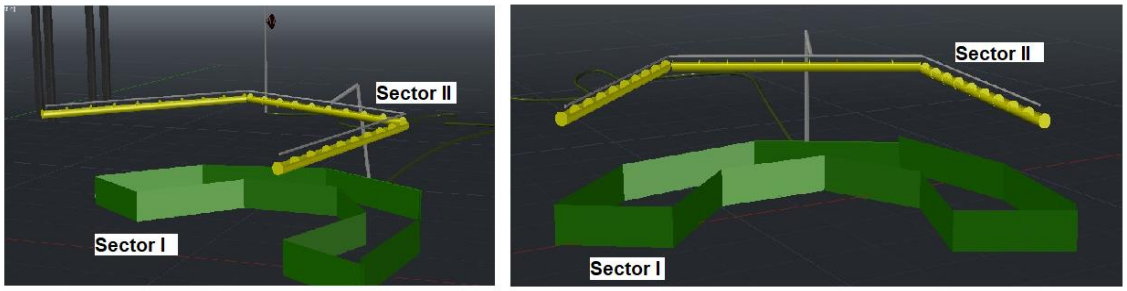


Figura 15. Vista general de la estructura del cultivo sectorizado; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.1.4.1 El cultivo se dividió en dos sectores I y II

Sector I: cultivo en cama sectorizada

Para el diseño del cultivo del sector I se tuvo en cuenta el pentágono de las 5 caras de la estructura del domo geodésico, el cual le da la forma que se puede ver en la Figura 16, el espacio fue delimitado de acuerdo con las especificaciones requeridas para la siembra, en donde se tienen 2 lados de 2m, 7 lados de 1.20m y 2 lados de 1m.

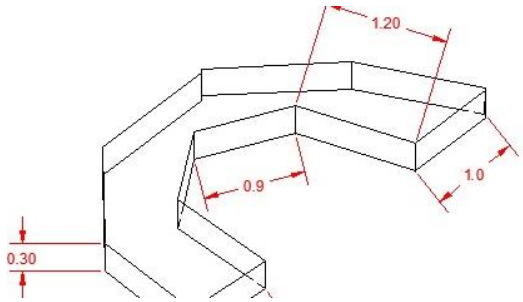


Figura 16. Cultivo sectorizado de siembra directa del Lippia alba (Pronto alivio); Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Sector II: Cultivo en tubos PVC

Para el diseño del cultivo del sector II está conformado por 3 tubos de 2m y cada uno de ellos de 4”.

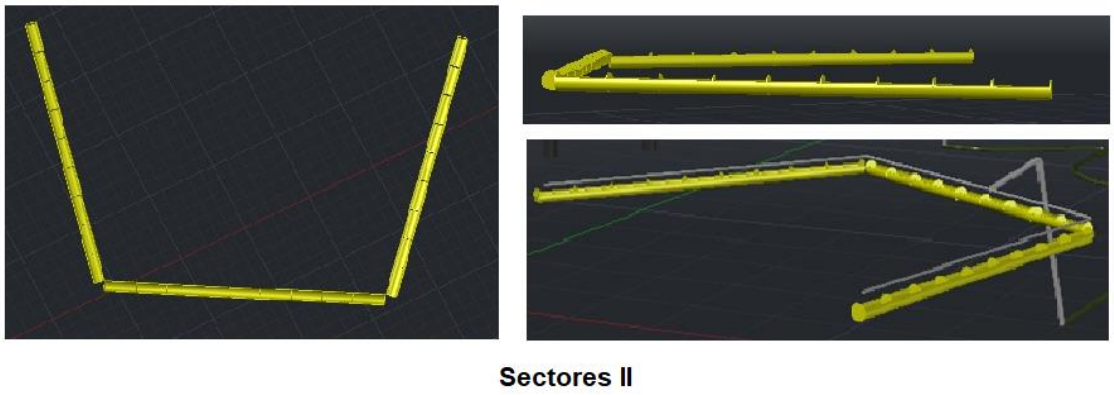


Figura 17. Cultivo elevado en tubos PVC para la Petiveria alliacea (Anamú); Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.1.4.2 Área del cultivo

De acuerdo con la cantidad de plantas requeridas a sembrar y el espacio predeterminado se procedió a sacar el área total del cultivo en sectores I y II que serán descritos a continuación de forma individual:

Sector I:

- Primeramente, se tuvo en cuenta la base (b) vista en la Figura 18, implementando 3 palos de 1 m y 4 palos de 1.20 m por lo cual 1 m + 1 m + 1 m + 1.20 m + 1.20 m + 1.20 m + 1.20 m =7.8m el cual es dividido en 2 para que nos dé como resultado 3.9 m como perímetro de la base.
- Posterior a esto, se tuvo en cuenta la profundidad radicular de las especies para la siembra requerida en el cultivo, en donde según información bibliográfica es de 0.05m.
- Por último, en la Figura 18 se puede visualizar la altura (h) que es de 2 m y que se da de acuerdo con el espacio requerido de siembra para 3 plantas.

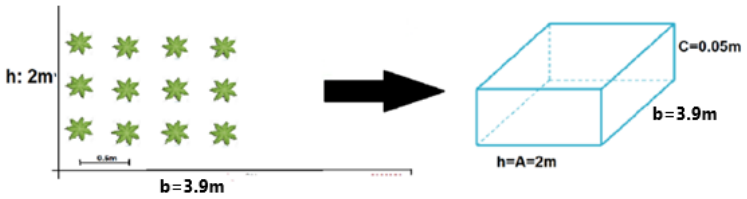


Figura 18. Representación del cultivo en cama a un prisma para hallar el área total del cultivo I; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Área:

$$A=2ab+2bc+2ac$$

$$A=2(2\text{m})\ (3.9\text{m})+2(3.9\text{m})\ (0.05\text{m})+2(2\text{m})\ (0.05\text{m})=16.19\text{m}2$$

En esta área, se determina que el lado (h) debe corresponder a la altura de un espacio de 2 m, en el cual se puedan sembrar 3 plantas de *Lipia alba*. La base (b) de este espacio será de 7.8 m, permitiendo así la siembra de 19 plantas en total. Cabe mencionar que esta área será capaz de albergar un total de 51 plantas de *Lipia alba* de acuerdo a los cálculos del área realizados.

Es importante resaltar que, en la siembra, la separación entre las plantas será de 0.5 m, tal y como se puede observar en la Figura 19. Además, para el cultivo en cama sectorizada, se requiere de al menos 0.05 m de profundidad, con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas para la siembra y permitir un crecimiento radicular óptimo de las plantas.

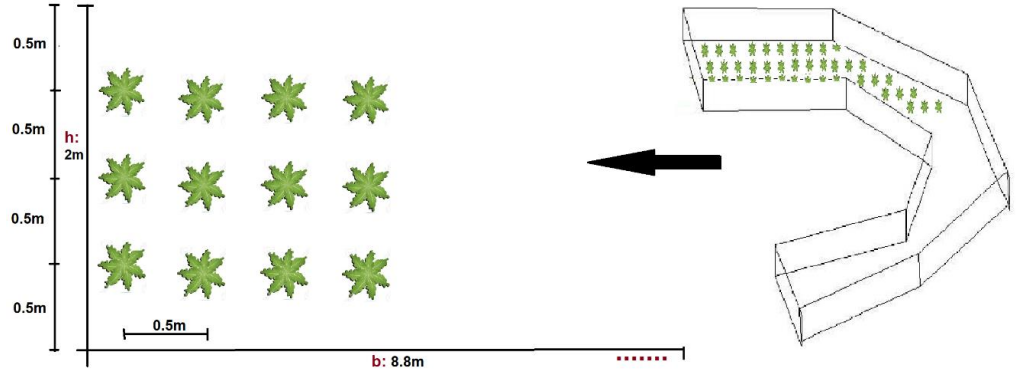


Figura 19. Vista superior de cama de cultivo sectorizado, Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Sector II: cultivo en tubos PVC

- El cultivo está conformado por 5 tubos de PVC, 3 de 2m de largo y 2 de 1.2m de largo por lo que 2 m + 2 m + 2 m + 1.4 m + 1.4 m = 8.8 m de perímetro.
- El cilindro tiene un diámetro de 4” es decir de un diámetro de 0.10m y un radio de 0.05 m teniendo en cuenta que se requiere una profundidad radicular de 0.05 m.
- Por último, se contempló que la separación de la siembra entre plantas es de 0.5 m.

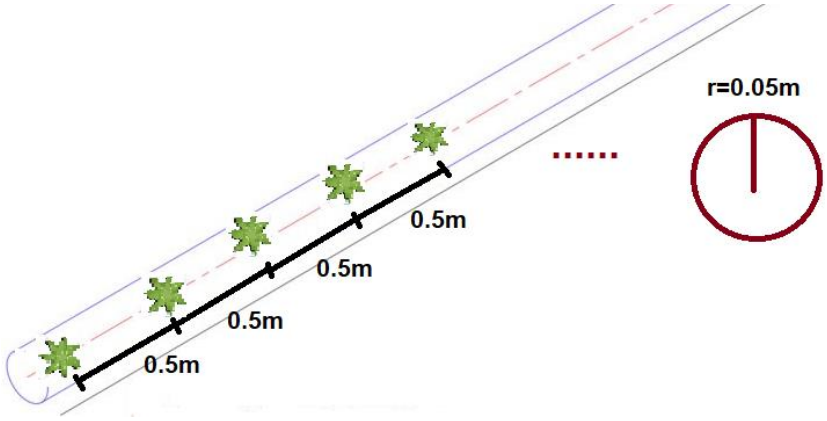


Figura 20.Representación del cultivo elevado en tubo de PVC para hallar el área total; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Área:

$$A = 2\pi r\,(r + h)$$
$$A = 2\pi\,(0.05)\,(0.05\text{m} + 8.8\text{m}) = 2.78\text{m}2$$

Conforme al espacio predispuesto, cada 2 m caben 5 plantas por lo que el *Lippia alba* ocupó un área de 16.19m2 y caben exactamente 51 plantas y lo mismo para la *Petiveria alliacea* el cual ocupó un área de 2.78m2 y caben 19 plantas con respecto al área para la siembra.

7.1.5 Diseño del sistema hídrico y de riego

Para la elaboración de los planos del sistema hídrico y el sistema de riego, se tomaron en cuenta las medidas del perímetro asignado por la comunidad indígena, que se extiende desde el tanque hasta el domo geodésico. En primer lugar, se llevó a cabo una medición de la altura del tanque de reserva, que es de 3 metros. Este tanque es el encargado de suministrar agua a ambos sistemas.

Es importante destacar que la ubicación del tanque se encuentra a una distancia mayor que la del domo. Esto se hace con el propósito de que el sistema funcione mediante la gravedad y pueda proporcionar agua al sistema de riego por goteo en los cultivos sectorizados I y II, como se describen en la Figura 15. Estos cultivos se encuentran ubicados dentro del domo geodésico.

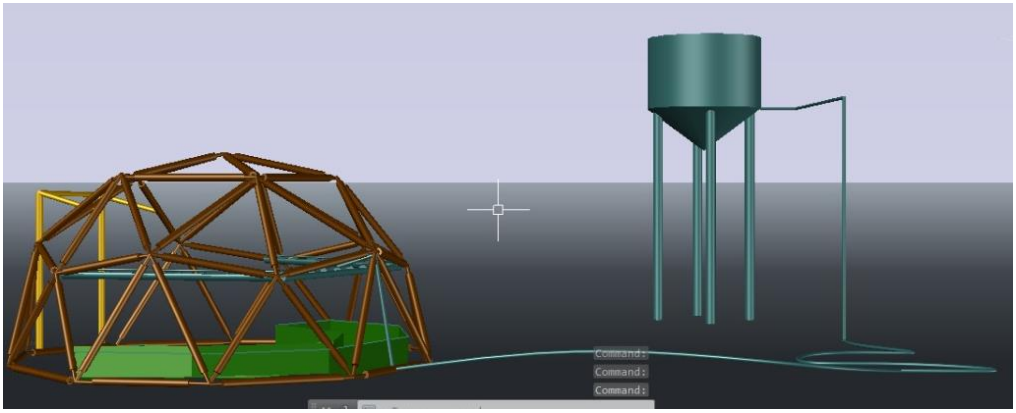


Figura 21. Vista general del sistema de riego al domo geodésico en AUTOCAD; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Este se realizó en SolidWorks. se observa que mediante las matrices de decisión de materiales se buscan simulados componentes semejantes para no tener variaciones en el momento de realizar la segunda fase de implementación.

En la Figura 22 se pueden observar desde la perspectiva lateral derecha el trazo del sistema hídrico. Primeramente, se tiene un tubo de 45 cm el cual se conectó al tanque de reserva y hasta la ubicación del domo la tubería utilizada es de 3 m. Posteriormente se utilizaron 15.5 m de manguera, en donde 6.5 m es de manguera superficial y 9 m de manguera subterránea hasta el domo geodésico.

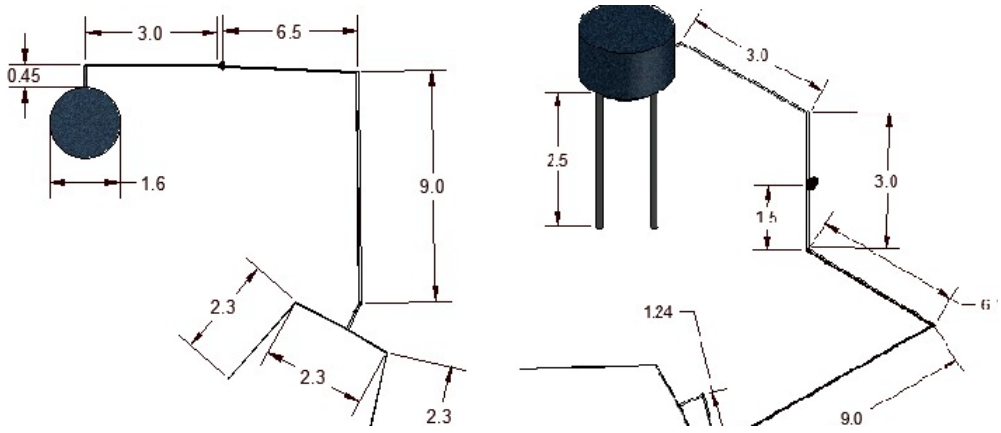


Figura 22. Conexión de la tubería para el sistema hídrico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

En la Tabla 13 se observan algunas medidas de materiales que se acoplan al sistema hídrico diseñado de acuerdo con las medidas del terreno. Las medidas obtenidas fueron calculadas con el programa AUTOCAD (unidades en metros).

Tabla 13. Materiales obtenidos por AUTOCAD para sistema hídrico.

Materiales	Cantidad	Tamaño	Longitud
Tubería	1	1 pulgada	3m
Manguera superficial	2	½ pulgada	6.5m
Manguera subterránea	3	½ pulgada	9m
Buje reductor	1	2 pulgadas a 1	-
Codos	1	1 pulgada	-
Uniones	1	1 pulgada	-
Buje reductor	1	1 pulgada a ½ pulgada	-
Llave de paso	1	1 pulgada a ½ pulgada	-
Inserto	1	1 pulgada a ½ pulgada	-
Cinta (manguera de goteo) adaptación de tubo de ½ ‘.	4	-	-
T plástica para manguera	1	½ pulgada	-
Inserto	1	1 pulgada a ½ pulgada	-
Cinta (manguera de goteo) adaptación de tubo de ½ ‘.	4	-	-
T plástica para manguera	1	½ pulgada	-

7.1.6 Diseño del sistema de energías renovables

Se observó en primera medida la incidencia solar de la zona y el consumo energético de cada dispositivo eléctrico o electrónico; por lo cual, se buscó información sobre su correcta instalación y conexión.

En la Figura 23 se evidencia el diseño inicial del sistema fotovoltaico, se cuenta con los materiales que fueron previamente seleccionados; este sistema proporcionó la energía suficiente para el sistema de riego y el de monitoreo, los cuales se encuentran calculados según la incidencia solar de la zona que es equivalente a 4,0 KW/m2 más el consumo energético de cada material ya seleccionado.

En la Figura 23B se muestra un esquemático de las conexiones realizadas en el sistema de energías renovables. Se puede observar que del panel solar se

desprende una conexión positiva y una conexión ground que se conectan directamente al regulador, el cual está diseñado para mantener un nivel de tensión constante y regulable proveniente de la placa solar. La segunda conexión se realiza desde el regulador hacia la batería, con el objetivo de almacenar la energía; esta energía proporciona la alimentación continua y suficiente para todo el sistema de control y monitoreo.

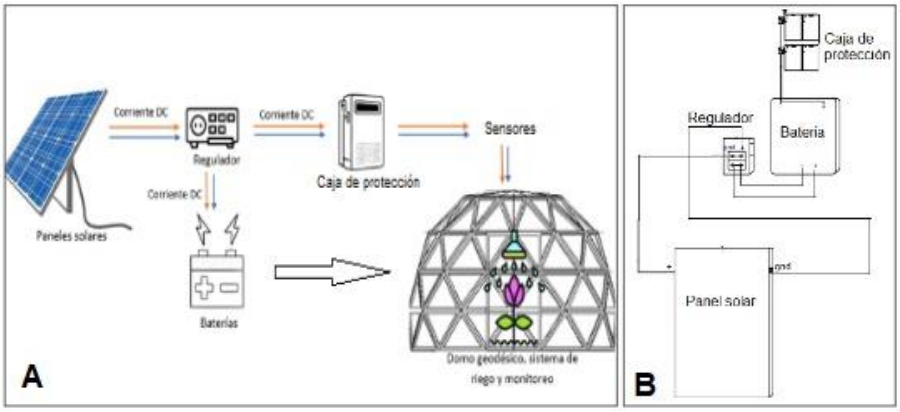


Figura 23. A. Diagrama de sistema de energías renovables, B. esquemático de conexiones del panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.1.7 Diseño del sistema de monitoreo (Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua)

Para el monitoreo se tuvieron en cuenta las variables de medición, posteriormente por medio de matrices de decisión se escogieron los sensores y los diferentes dispositivos eléctricos para la medición de cada una de las variables y de esta manera visualizar la información censada.

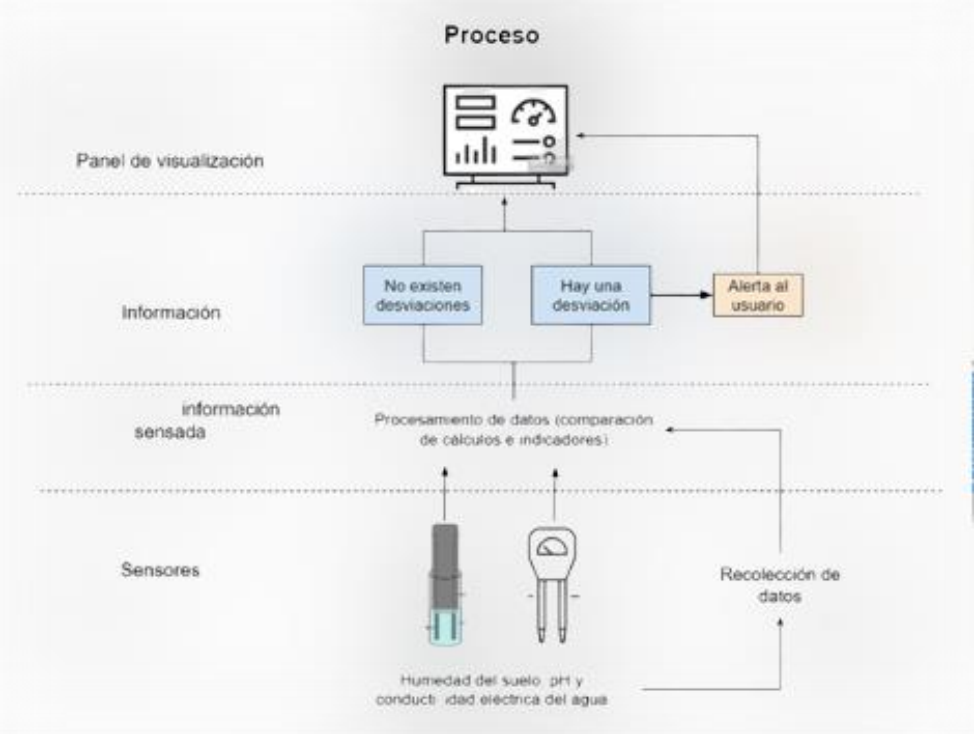


Figura 24. Procesamiento del sistema de monitoreo; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

En la Figura 24 se puede observar como el monitoreo será de ayuda al usuario en la supervisión del cultivo de plantas medicinales con respecto a las variables mediante una red de sensores interconectados y un seguimiento para la visualización de la información, con el cual se pretende atender algunos de los requerimientos específicos de cada especie.

7.1.8 Modelado del sistema electrónico

Para el diseño electrónico de manera inicial se tuvo en cuenta cada sistema de forma individual, esto, corresponde a las variables fisicoquímicas a medir como lo es la humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua. Para llegar al modelamiento se realizó una búsqueda previa de los materiales, este proceso se puede ver descrito en la Figura 25.

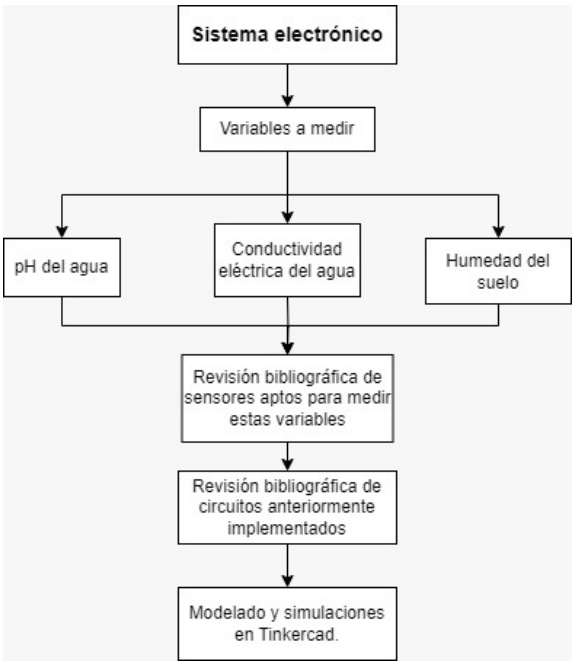


Figura 25. Revisión de sensores para el sistema electrónico. Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

En las siguientes imágenes se presenta el modelamiento realizado en Tinkercad para las variables de pH, conductividad eléctrica del agua y humedad del suelo. Se utilizan los sensores escogidos en las matrices de decisión de los materiales.

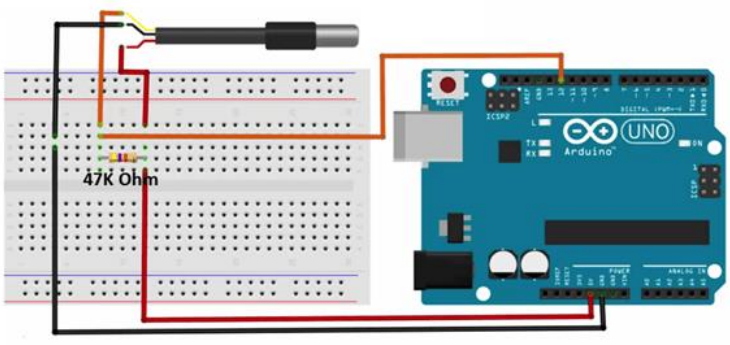


Figura 26. Diseño para la medición del pH del agua.

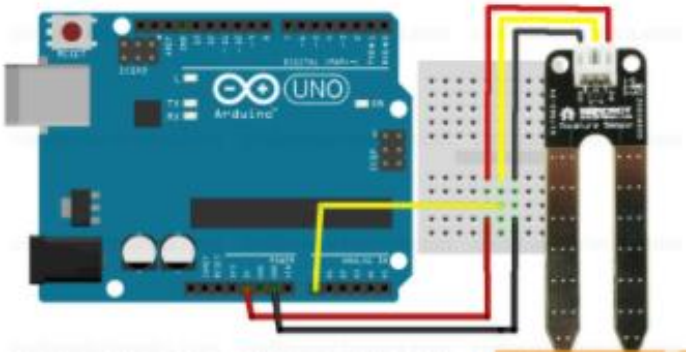


Figura 27. Diseño para la medición de humedad del suelo

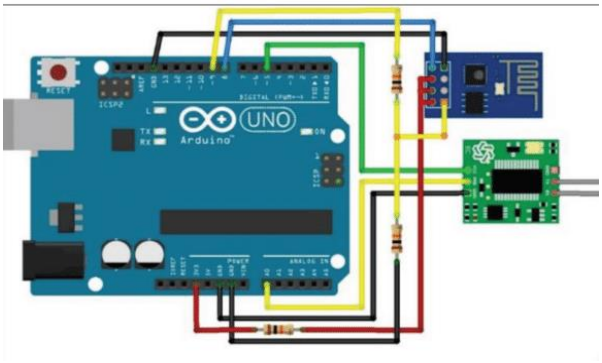


Figura 28. Diseño para la conductividad eléctrica del agua.

7.1.9 Desarrollo del código de programación en Arduino

El código se desarrolló mediante el lenguaje de programación Arduino ya que los sensores tienen comunicación directa con este microcontrolador. De manera inicial se tuvo en cuenta cada variable a medir individualmente, para así medir datos específicos de la humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua.

Se realizó el desarrollo de tres diferentes códigos, esto debido a que son sensores diferentes por lo tanto se plasma mediante diagramas evidenciados en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31 donde se observa el ingreso de datos, la toma de variables y en rojo las líneas de programación correspondientes a la descripción que se otorgó.

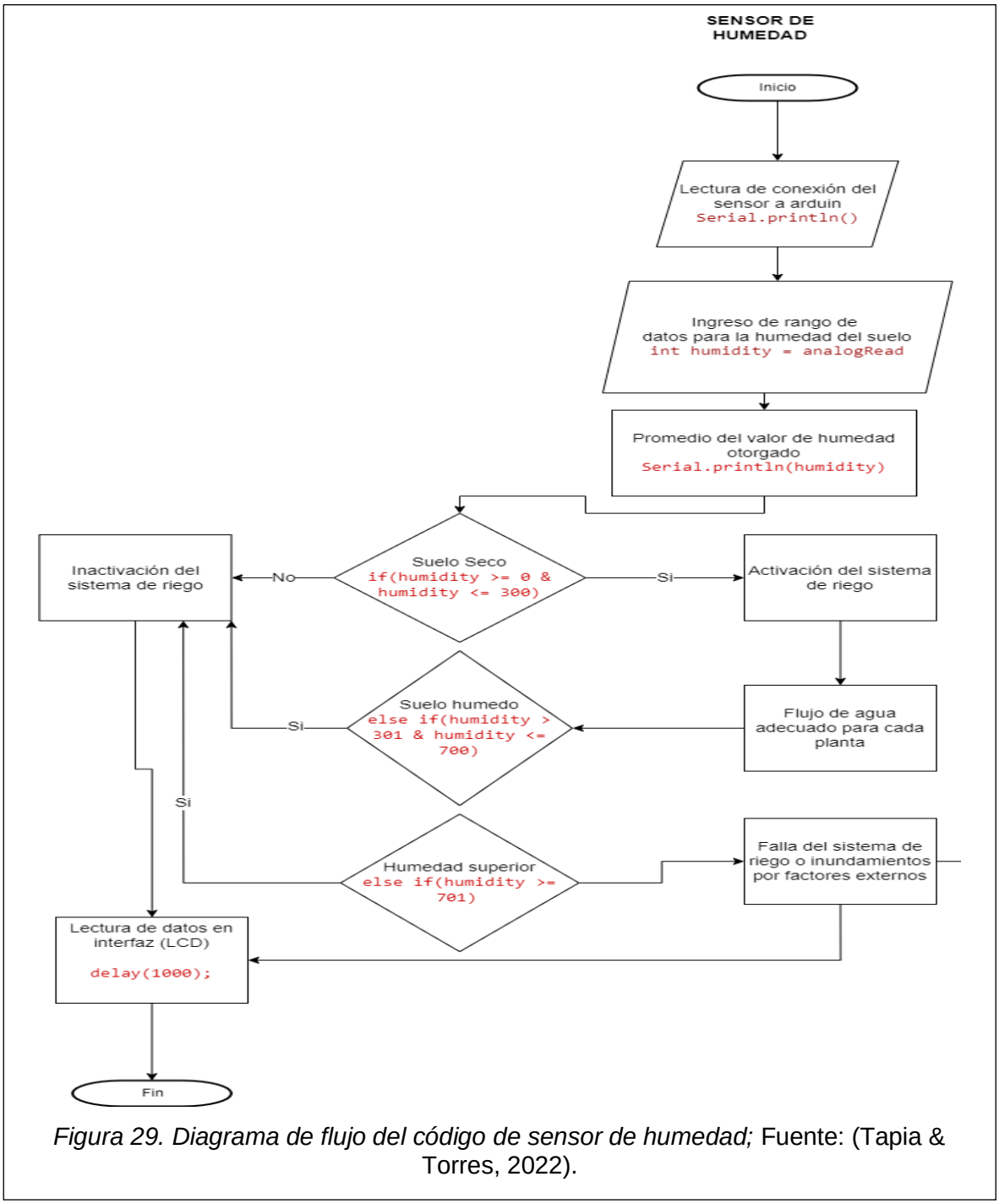


Figura 29. Diagrama de flujo del código de sensor de humedad; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Por medio de búsqueda bibliográfica se obtuvo información necesaria en la obtención de datos convertidos a valores conocidos, por ejemplo, para el pH se conocen valores que van del cero (el valor más ácido) al 14 (el más básico), los cuales fueron interpretados en unidades de voltaje, con el fin de mostrar la

información en la interfaz de manera sencilla y de fácil entendimiento para la comunidad.

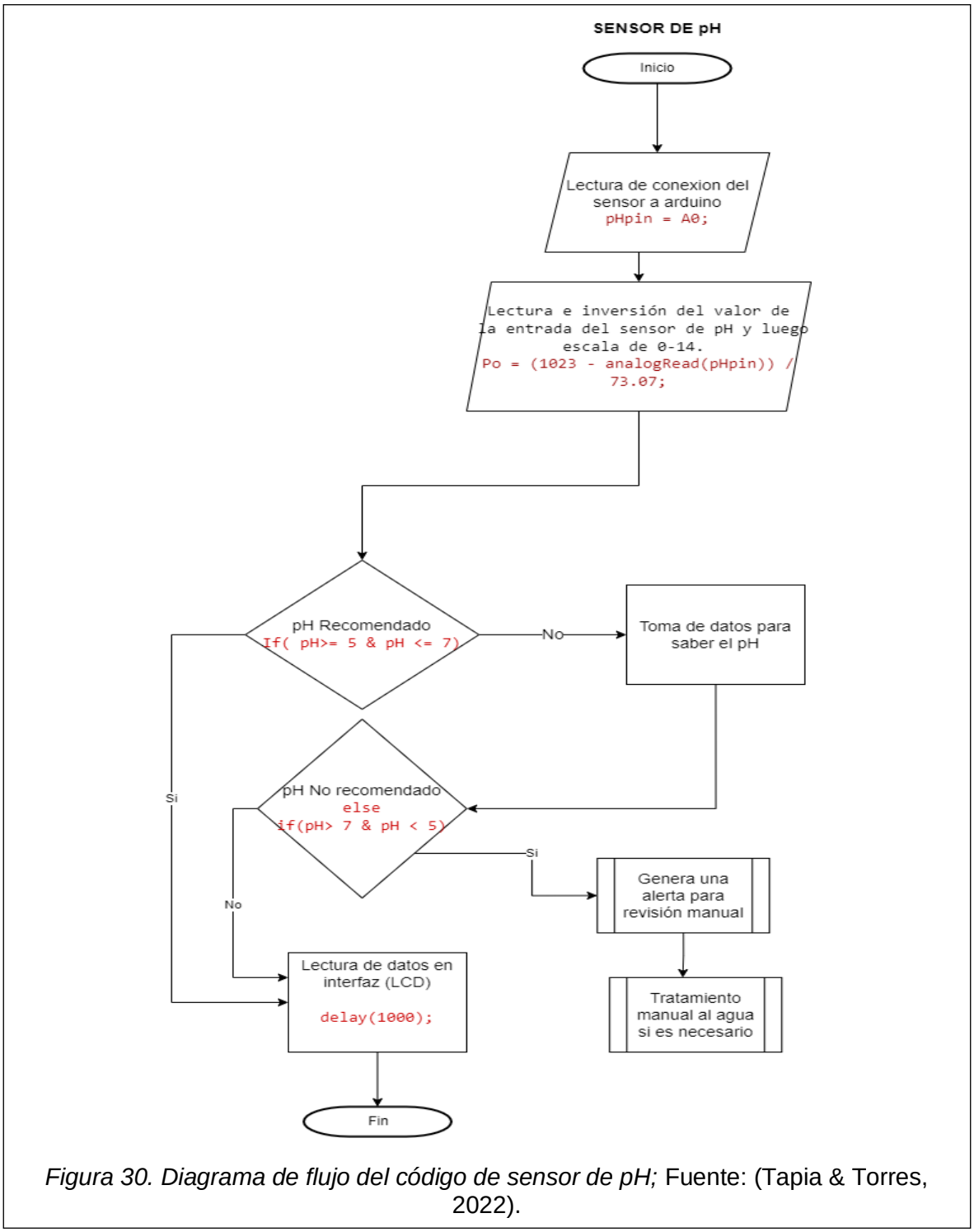


Figura 30. Diagrama de flujo del código de sensor de pH; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

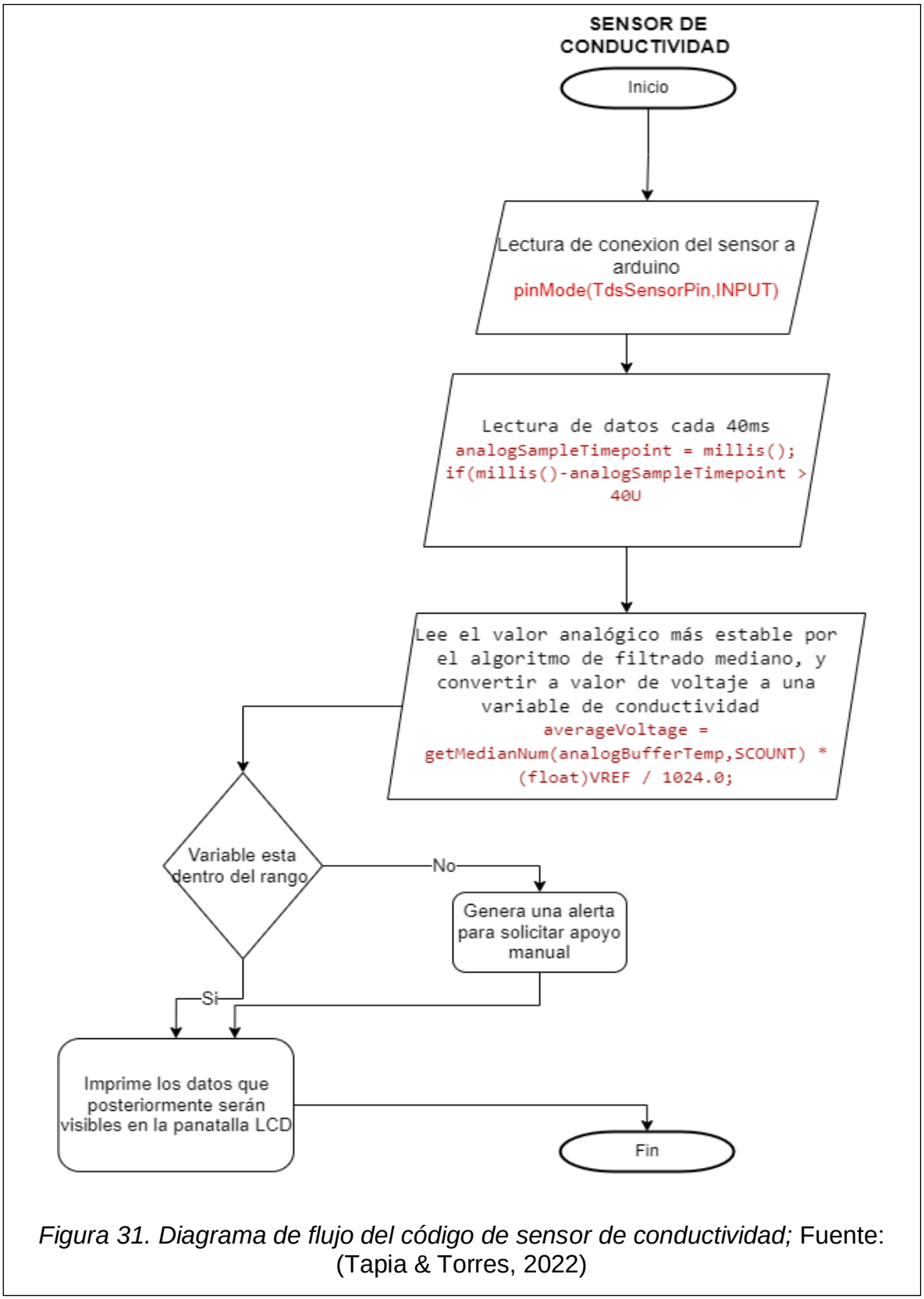


Figura 31. Diagrama de flujo del código de sensor de conductividad; Fuente: (Tapia & Torres, 2022)

7.1.10 Muestra de resultados en interfaz seleccionado (la facilidad para mostrar las variables monitoreadas por los sensores)

Para la selección de la interfaz se tuvo en cuenta la compatibilidad y adaptabilidad de los componentes eléctricos escogidos previamente en las matrices de decisión, considerando los requerimientos eléctricos, como lo es la energía necesaria para su correcto funcionamiento; además, se tiene en cuenta la implementación de tecnología afable con la comunidad indígena, en términos de manipulación y fácil visualización del usuario.

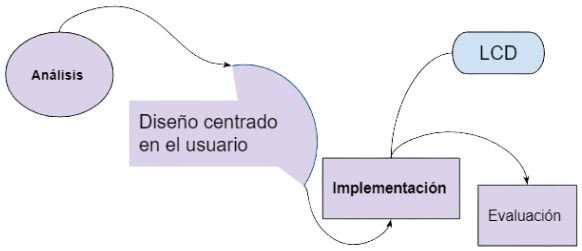


Figura 32. Selección de interfaz; Fuente: (Tapia & Torres,2022).

En la Figura 33 se pueden visualizar los resultados por medio de un LCD de las variables censadas de Humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua, mostrando así de manera clara los datos de los sensores de manera individual.

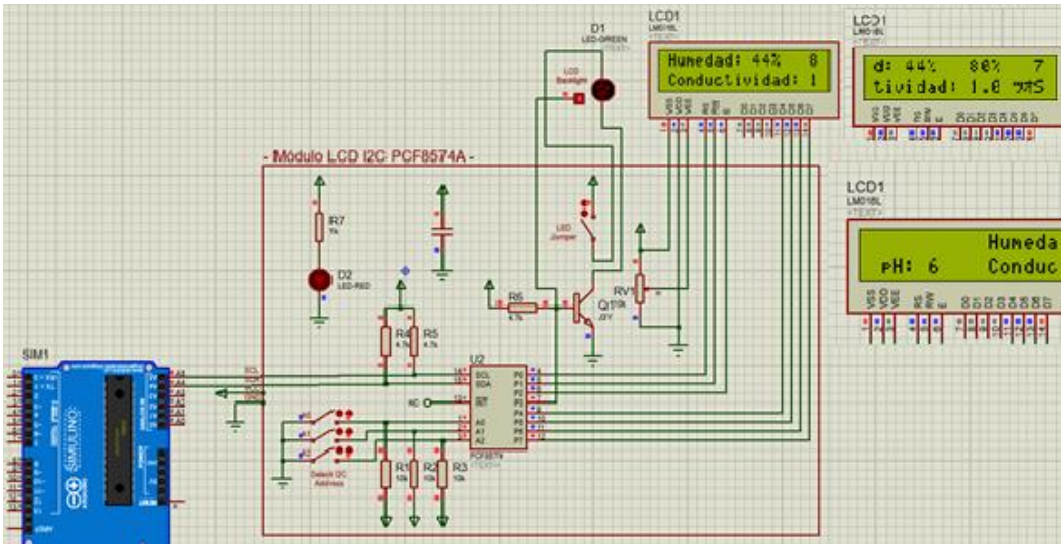


Figura 33. Visualización de la interfaz; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.1.11 Datos del sistema de riego y del sistema de energías renovables

Para conocer los cálculos del sistema de riego fue necesario tener en cuenta el área correspondiente a la estructura externa (domo geodésico), la cual delimita el área de cultivo sembrado. De esta manera, se halló el diámetro requerido de tubería para así garantizar el abastecimiento de agua a cada una de las plantas.

Cabe resaltar que el consumo energético generado de cada material eléctrico o electrónico en el sistema de riego fue considerado para el suministro de energía renovable.

- Plantas en el área de cultivo

Área neta de la estructura externa del cultivo= 30m2

Distanciamiento entre plantas = 0,5m

Número de plantas= (18 m de ancho/ 0.5m) x2 distanciamiento entre plantas= 70 plantas aproximadamente.

- Volumen de agua por planta

G = (RRF)SpSI=1l por cada planta al día

RR=requerimiento de riego=2

F= frecuencia de riego=1

Sp=espaciamiento entre plantas=0.5m

SI=espaciamiento entre laterales de riego=1m

- Punto de emisores por planta

Np = Sp/Se=1

Sp=0.5m

Se= espaciamiento entre goteros=0.5m

- Tiempo de riego a la planta

Ta = G/ (Np x qa)=0.67=39.6 minutos

Np=puntos de emisión por planta=1

qa= caudal del gotero= descarga de 1.5L/h

- Caudal

Q Total = (1,5 L/ h × (60 plantas x 0.003 hectáreas)) L/h =0.27

Q Total = 0.27 L/h ≅ 0.0045 L/min ≅ 0.0011 gpm ≅ 0.27 m3/h ≅ 7.5e-5 m3/s

- Altura manométrica

Este cálculo ayudó a seleccionar la bomba adecuada

ecuación de Hazen – Williams.

$$H = 10{,}674Q1.852C1.852D4.871L=3.1x10\text{-}6$$

H: Altura manométrica (m)

Q: Caudal (m3/s) =7.5e-5 m3/s

C: Constante para PVC = 150

D: Diámetro de la tubería (m) =0.0545

De acuerdo con los cálculos obtenidos y los requisitos mínimos se realizó la selección de una bomba que trabaja con una potencia de 5V y 12V y una corriente de salida máxima de 220 mA, la cual permite obtener el consumo necesario para su funcionamiento por medio de energías renovables.

7.1.12 Revisión de materiales para cada diseño junto sus matrices de decisión

Los materiales seleccionados en cada uno de los diseños estipulados en este proyecto, fueron escogidos de acuerdo a matrices de decisión según las necesidades de cada proceso; se tienen en cuenta las capacidades de protección tanto del cultivo y de los diferentes componentes electrónicos; las condiciones climatológicas de la zona también son importantes al momento de optar por algún material ya que se tiene en cuenta la resistencia a temperaturas altas, humedad y

otras variables ambientales, también se tomó en consideración la vida útil y su relación costo, desempeño y beneficio.

En anexos se encuentran las matrices de decisión tomadas para cada material, y allí se pueden observar los criterios de selección (hipervínculo).

Componentes del sistema de riego por goteo

Para el sistema por goteo se realizó un sistema de selección de acuerdo con matrices de decisión, donde se tuvieron en cuenta parámetros como tiempo de vida útil, compatibilidad, potencia requerida, facilidad de instalación, mantenimiento, costos, la presión necesaria.

Tabla 14. Componentes del sistema de riego por goteo

Nombre/referencia	Características
Sensor de flujo YF-S201	Voltaje de Alimentación: 5VDC Corriente de Consumo: 15 mA Caudal (Q): Litro / minuto Frecuencia del Caudal: 7.5*Q Tubo estándar de 1/2 pulgada
Electroválvula: Cepex	Presión de trabajo de 0,5-10 BAR. Solenoide 2 vías, control interno, 24 VAC/50HZ
Bomba hidroeléctrica: Generic	Tipo: 5 V, 12 V, 0-80 V Corriente de salida: máx. 220 mA cerrado Presión más alta: 0,6 Mpa
Sensor de corriente: ACS712	Corriente Directa y Alterna 30A con tecnología de efecto hall
Sensor de voltaje: FZ0430	entrada análoga de Arduino es de 5V, por lo que la tensión de entrada de este módulo no debe ser superior a 5V x 5 = 25V

Componentes para el sistema de monitoreo

Para el monitoreo de la humedad del suelo, pH y conductividad eléctrica del agua se realizó una selección de sensores de acuerdo una matriz de selección, se tuvieron en cuenta la potencia requerida, precio, funcionamiento, entre otros.

Tabla 15. Componentes para el sistema de monitoreo.

Nombre/referencia	Características
Conductímetro Sensor De Conductividad Tds Meter Arduino	Voltaje mínimo de entrada 5V.
Sensor de pH para Arduino	Voltaje mínimo de entrada 5V. Rango de medición 0-14
Humedad del suelo Yl100	voltaje de funcionamiento 3.3V-5V-
Humedad del suelo Yl100	voltaje de funcionamiento 3.3V-5V-

Por medio de los diseños CAD realizados, se obtuvieron parámetros necesarios para la selección de materiales; en el caso de la estructura del cultivo vertical se consideraron condiciones de resistencia, flexibilidad y componentes como tornillería, amarres, acoples, uniones, etc. Para el sistema de riego e hídrico el CAD mostró la cantidad de llaves de paso, manguera, tubería, uniones, etc.

Componentes del diseño de cultivo

En la selección del material para la estructura se tuvieron en cuenta propiedades de resistencia a las condiciones climatológicas de la zona. La decisión del material se tomó en concertación con la comunidad y con las matrices de decisión.

- Pilares o columnas.
- Camas de cultivo= plástico, piezas metálicas.
- Estructura externa= madera.

Componentes del domo geodésico

En la matriz de decisión Tabla 16 se puede observar que el material escogido con un 2.8% fue la guadua debido a duración, resistencia, e impacto ambiental; es importante mencionar que se tuvieron en cuenta los requerimientos dados por la comunidad.

Tabla 16. Matriz de decisión de los materiales para el domo

Peso	Criterios	Tubo PVC	Total	Aluminio	Total	Guadua	Total	Madera	Total	Hierro	Total
20%	Duración	2	0,4	3	0,6	2	0,4	1	0,2	3	0,6
25%	Resistencia a las condiciones climatológicas de la zona.	3	0,75	2	0,5	3	0,75	0	0	2	0,5
15%	Impacto ambiental positivo	2	0,3	2	0,3	3	0,45	2	0,3	2	0,3
10%	Uso ecológico	2	0,2	2	0,2	3	0,3	3	0,3	2	0,2
10%	Acceso	2	0,2	1	0,1	3	0,3	2	0,2	1	0,1
5%	Peso (liviano)	3	0,15	1	0,05	3	0,15	3	0,15	1	0,05
10%	Fácil construcción	3	0,3	2	0,2	3	0,3	3	0,3	1	0,1
5%	Costo	2	0,1	1	0,05	3	0,15	2	0,1	1	0,05
Total influencia		2,4		2		2,8		1,55		1,9	

7.2 **Fase 2:** Segundo objetivo

A continuación, se muestra evidencia necesaria del cumplimiento del segundo objetivo, el cual es la fase de implementación del proyecto. Se observarán fotos tomadas por las autoras, que se complementarán en la parte de anexos.

7.2.1 Preparación del terreno y fase inicial de construcción

Como se puede observar en la Figura 34 A, se hizo el proceso de limpieza y nivelación del terreno para así poder empezar la construcción del domo, este proceso tardó un par de horas ya que se contó con ayuda de gente de la comunidad, cabe resaltar que el proceso de eliminación de maleza no fue sencillo debido que debía ser arrancado desde la raíz. En la Figura 34 B, se puede evidenciar que el terreno quedo preparado para la implementación de la estructura.

Figura 34. A: Proceso de desyerbado y nivelación del terreno; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: Lugar de ubicación de la estructura desyerbado y nivelado; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.2.2 Implementación del domo

Se empezó por realizar una maqueta Figura 35 A, la cual brindó la idea y la facilidad de proceder a realizar los cortes; también fue importante observar paso a paso el CAD realizado en la parte de diseño. De acuerdo con las matrices de decisión para el diseño del domo se adquirió la guadua como material principal, esta se unió en pentágonos como se evidencia en la Figura 35 B y se procede a realizar el montaje de la estructura final.

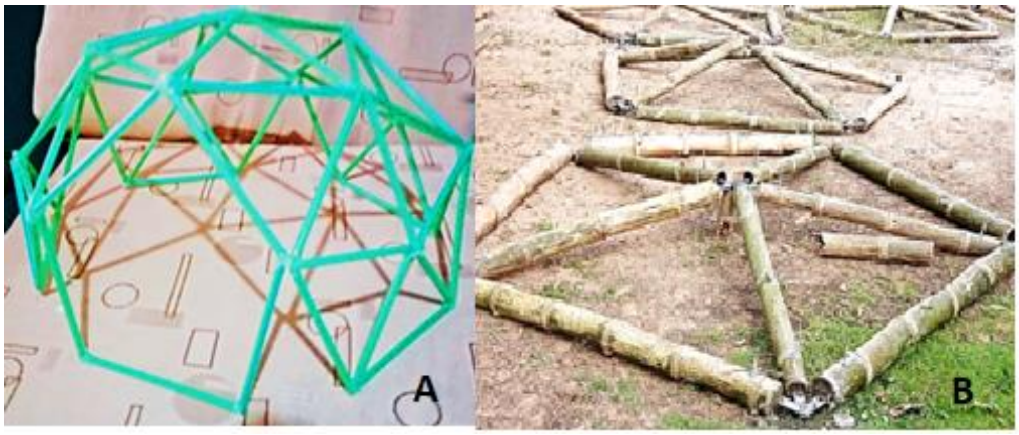


Figura 35. A: Maqueta del domo geodésico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: *Unión de la guadua;* Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Cabe mencionar que la guadua se cortó con pulidora a las medidas ya establecidas en la fase de diseño, esto con ayuda de algunos integrantes de la comunidad.

De manera posterior se realizan las uniones de cada guadua con platina y tornillos de 15cm para tener mayor estabilidad a las inclemencias del clima, creando así seis pentágonos que fueron unidos con soldadura, buscando una mayor estabilidad en la estructura. Se resalta que la estructura tiene bases que fueron sostenidas por ladrillos para lograr el objetivo esperado.

Una vez realizado el proceso de preparación de la guadua se procede a cortar y a taladrar Figura 36 según las medidas indicadas en el proceso de diseño, cabe resaltar que la comunidad brindó una importante ayuda para este proceso.

Figura 36. Proceso de corte y taladrado de la guadua; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Se realizaron las uniones de los diferentes pentágonos dando el montaje de la estructura con unión de tornillos y fijándolo con soldadura, realizado en las platinas Figura 37 A, esto fue necesario debido a que se requería estabilidad en el domo.

Finalmente, como se observa en la Figura 37 B se instaló una cubierta de 10 m de poli sombra al 80% de exposición de luz en el interior del domo. Esto con el fin de generar un ambiente propicio para el desarrollo del cultivo y proteger a las plantas de afectaciones externas e internas como las plagas y enfermedades.

Figura 37. A: soldadura de las uniones de la estructura; Fuente: (Tapia & Torres, 2022). B: *Domo finalizado y cubierto con poli sombra;* Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.2.3 Implementación de la estructura de los cultivos

De acuerdo con la metodología mencionada anteriormente, se obtuvieron los dos tipos de cultivo, tanto el de cama sectorizada como el de tubos de PVC elevados como se observa en la Figura 38, permitiendo de esta manera sembrar la cantidad requerida de las plantas medicinales de *Lippia alba* y *Petiveria alliacea*.

Construcción

*Figura 38. Construcción de la sección **I** y sección **II** del cultivo;* Fuente: (Tapia &

7.2.4 Implementación y validación del funcionamiento del módulo de monitoreo de pH y conductividad del agua

Para la construcción del sistema de monitoreo pH y conductividad eléctrica del agua fue necesario hacer una revisión bibliográfica de los datasheet de cada sensor (Seleccionado mediante las matrices de decisión). Se pudo establecer una frecuencia de medición expresado en la Tabla 17 la cual brindó la información necesaria para modificar la programación ya realizada en la fase de diseño.

Tabla 17. Frecuencia de medición de los sensores para el sistema de monitoreo

Sensor	**Frecuencia de medición**
pH (agua)	Cada 8 días
Conductividad eléctrica (agua)	Cada 8 días
Humedad del suelo	Cada 2 horas

Una vez se realizaron las modificaciones del delay en la programación se procedió a realizar pruebas de cada sensor dando los resultados esperados. Cabe resaltar que es importante observar los protocolos de prueba (evidenciados en anexos) de cada sensor para así empezar la implementación en el sitio de colocación además se debe realizar la calibración para no tener errores de censado.

Para los sensores de humedad se realizó la prueba con el código en tres diferentes escenarios para así observar el porcentaje de humedad.

- Se ingresó el sensor en un vaso con agua, arrojando en el código un voltaje igual a 0 dando una humedad del 100%.
- Se colocó el sensor en el aire dando un valor de 1023 lo que indica una humedad del 0%.
- Se realiza una relación de estos valores máximo y mínimo para obtener los demás porcentajes de humedad, por lo cual se obtiene un método de calibración cualitativa.

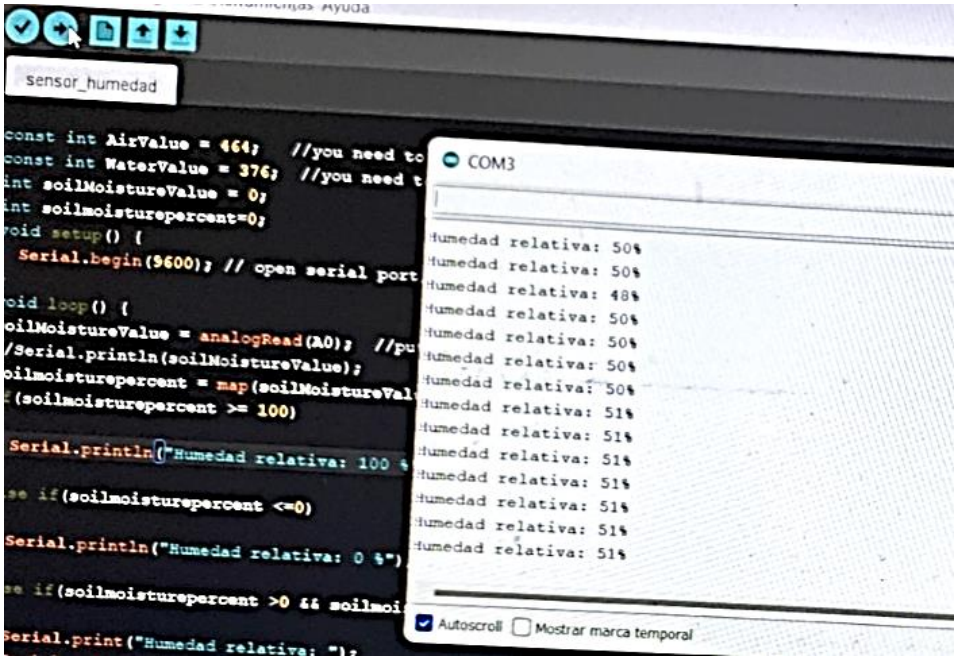


Figura 39. Prueba del sensor de humedad con el suelo de muestra; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Aun así, para verificar estos porcentajes se realizó una prueba cuantitativa que verificó que el código estaba bien desarrollado; necesitando una gramera, un recipiente y un horno microondas que permitió secar la muestra.

De manera inicial se obtuvo una muestra de suelo con agua con un peso total de 320 g, al realizar el secado se obtuvo un peso de 212 g y se realizan las siguientes operaciones para poder determinar la humedad del suelo

$$\text{Peso suelo con agua-Peso suelo seco}=\text{Total del agua}$$
$$\%\text{Humedad}=(\text{Total del agua}/\ \text{Peso suelo seco})\times 100$$

Dando un porcentaje de humedad del 50.94%, que al ser verificado por el sensor daba una humedad del 50% al 51% como se puede verificar en la Figura 40.

Para la calibración del sensor de pH fue necesario comprar una solución buffer, de esta manera se realizó la medición con la solución y el código de programación, lo que permitió determinar que los datos censados están dentro del estándar de medición.

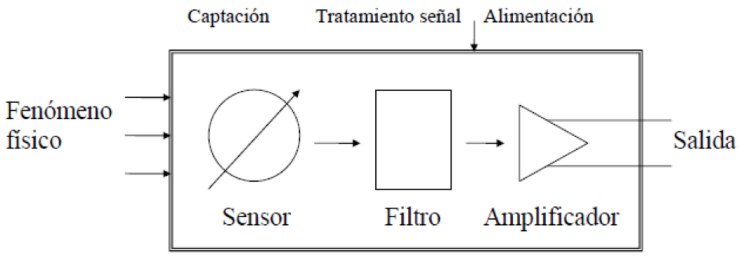


Figura 40. Funcionamiento sensor capacitivo de humedad 1.2 V; Fuente: (Brunette, 2022).

Para el sensor de electro conductividad se calibró mediante la solución estándar. sobre el uso de sondas de conductividad u otros medidores. Para clarificar, las sondas son instrumentos que miden el voltaje o la resistencia de la muestra de agua, al momento de realizar la prueba en agua potable dio un valor de 1180 µS/cm. Lo cual es lo indicado por las referencias bibliográficas.

Al implementar el sistema completo de monitoreo fue necesario verificar el voltaje de cada sensor ya que va ligado al sistema de energía renovable; como tal los sensores de humedad están directamente conectados a dos electroválvulas para poder accionar el riego para el cultivo de las dos especies medicinales y el sensor de pH y electro conductividad debido a la distancia del reservorio y el cultivo tendrá una muestra de datos en otra pantalla LCD.

Cabe resaltar que la implementación y validación del funcionamiento del sistema de monitoreo y de riego requirió de librerías dispuestas por Arduino para el correcto censado; también se presentaron problemas al momento de realizar las conexiones debido a que se soltaban las soldaduras realizadas con estaño y cautín lo que causaban masa en los cables y que el sistema empezará a fallar. Es necesario verificar bien las conexiones, así como, la fuente de alimentación que energiza el sistema porque puede causar un corto si se expone a un voltaje superior no indicado, o no prende todo el sistema si el voltaje es inferior.

7.2.5 Implementación del sistema hídrico y de riego

Sistema hídrico

Para la implementación y validación del funcionamiento del sistema hídrico se siguieron los siguientes pasos:

- Compra del material requerido para el funcionamiento del sistema de riego descrito a mayor detalle en la Figura 13.
- Conexiones de tubo PVC, llave de paso y manguera de acuerdo con la figura del diseño CAD y la tabla de materiales.
- Regata para manguera subterránea.
- Cubrimiento de regata.
- Conexiones al domo geodésico y el sistema de riego.
- Prueba de funcionamiento.

Como se observa en la Figura 41 se encuentra la instalación del sistema hídrico, en donde hay un acoplamiento con el tanque de reserva, horizontalmente se instaló el tubo de PVC de 3m en donde se redujo de 1 pulgada a ½ pulgada, luego verticalmente se conectó un tubo de 3m bajando con una llave de paso, para posteriormente hacer la conexión con la manguera, de esta manera se evidencia el funcionamiento del sistema hídrico.

Figura 41. Instalación e implementación del sistema hídrico; Fuente: (Tapia & Torres, 2022)

Posteriormente se acopló la manguera de 1⁄2 pulgada, la cual tuvo otros dos acoples de reducción para generar el flujo adecuado del recurso hídrico hasta las plantas; la instalación de la maguera de los tubos descritos en la Figura 42 hasta el domo, se implementó de manera subterránea para una mayor durabilidad.

Figura 42. Regata subterránea de tubería del sistema hídrico a conexiones del sistema de riego dentro del domo.

Sistema de riego

- Inicialmente se midió la extensión del espacio requerido para así garantizar el cubrimiento del suministro hídrico por medio de una manguera de ½ pulgada para el área total de la siembra.
- Luego se le abrieron orificios a la manguera con una puntilla caliente, cada uno a una distancia de 0.5m, de forma tal que estos quedaran diagonales a la planta.
- La manguera fue amarrada con alambre dulce y se instaló a 5 cm de altura del sustrato.
- Se realizó la conexión con la manguera subterránea conectada al tanque de reserva para el aprovisionamiento de agua.
- Por último, fueron instaladas dos electroválvulas, para cada una de las especies sembradas (Figura 43), las cuales deben ser accionadas según el rango de humedad.

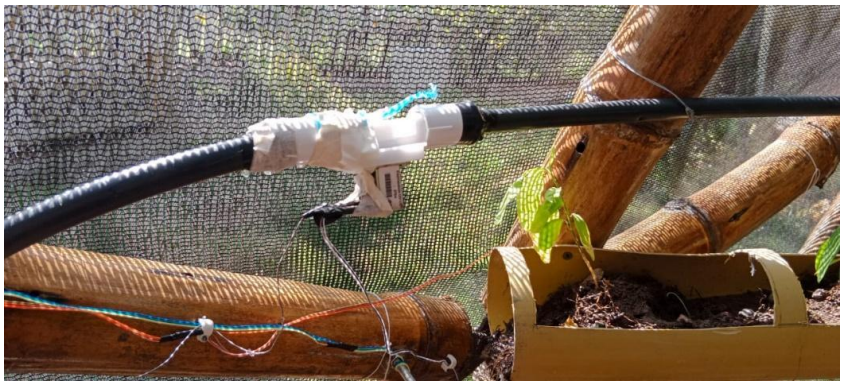


Figura 43. Electroválvulas para accionamiento del sistema de riego

7.2.6 Instalación y validación del funcionamiento del método de energía renovable

Debido a la revisión bibliográfica se optó por la instalación de un panel solar que pueda suplir la energía suficiente para los sensores de humedad, pH y electro conductividad, así como la alimentación del Arduino, por lo cual se realizó la suma de energía (potencia) total requerida. Por lo cual, como se puede evidenciar en la Tabla 18 se necesitó un panel con una potencia máxima de 50W, no se requirió de un inversor debido a que el voltaje de cada sensor es de 5V y 12V y este es requerido cuando supera los 110V.

Tabla 18. Suma de potencia necesaria para accionar cada sensor

Componentes	Cantidad	POTENCIA MÍNIMA (W)	POTENCIA MÁXIMA (W)	POTENCIA TOTAL	HORAS DIARIAS (h/dia)	CONSUMO DIARIO MÁXIMO Kw	CONSUMO MENSUAL Kw	CONSUMO ANUA Kw
Sensor capacitivo de humedad	2	0,17	0,25	0,50	2,00	0,001	0,03	0,37
Sensor de pH	1	0,25	0,50	0,50	0,01	0,000	0,00	0,00
Sensor de conductividad	1	0,20	0,30	0,30	0,01	0,000	0,00	0,00
Electroválvula	2	18,00	24,00	48,00	1,00	0,048	1,49	17,86
Relé	1	3,90	3,90	3,90	0,30	0,001	0,04	0,44
Arduino	1	0,65	0,65	0,65	2,00	0,001	0,04	0,48
Pantalla LCD	1	0,13	0,13	0,13	1,00	0,000	0,00	0,05
Modulo micro SD	1	0,90	1,10	1,10	0,20	0,000	0,01	0,08
TOTALES				55,08		0,052	1,61	19,28

Se instaló el panel solar en la parte superior de donde se ubica un pequeño salón donde se guardan algunos implementos que están disponibles para las reuniones de la comunidad con un ángulo de 35° para una buena captación de la radiación

solar, se dejó asegurado con soldadura en la parte inferior del Zinc. Se puede visualizar en la Figura 44.

Figura 44. Implementación de panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Tanto el regulador como la batería fueron instalados dentro del salón donde se realizó una repisa especialmente para estos dos equipos Figura 45 ya que no pueden ser dejados en el suelo debido a que se descargan y puede afectar la energía que debe proporcionarle a los sensores.

El cable comprado es especial para este tipo de energía para que no se produzca ningún corto eléctrico. Como se puede llegar a evidenciar el regulador tomó un voltaje automático de 13.7 V debido a la incidencia solar de la zona que no infiere los 4,0 KW/m2, dando la máxima energía que puede otorgar el panel solar y almacenando la energía en una batería de 9 V.

Figura 45. Regulador de voltaje y batería del panel solar; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.2.7 Implementación de interfaz

El lugar de ubicación de la interfaz fue establecido dentro del domo geodésico, ya que la capacidad de la longitud de cableado era mayor a 15 m, perdiendo respuesta de datos, por lo que se adecuó junto al enlace de comunicación de censado y el microcontrolador alimentado por una fuente de 12v suministrada por la energía solar. Para llevar a cabo la visualización de los datos obtenidos por los sensores, se realizó la programación a la interfaz (Arduino - Lcd 2x16), esta fue adecuada en una caja de protección.

El microcontrolador y la interfaz fueron adaptados en un armazón resistente a factores climáticos como se observa en la Figura 46. La visualización de los datos es proporcionada por dos pantallas LCD, en una se pueden observar los datos de control obtenidos por los sensores de humedad del sustrato y en la otra pantalla se visualizan los datos de monitoreo que arrojan el pH y la conductividad.

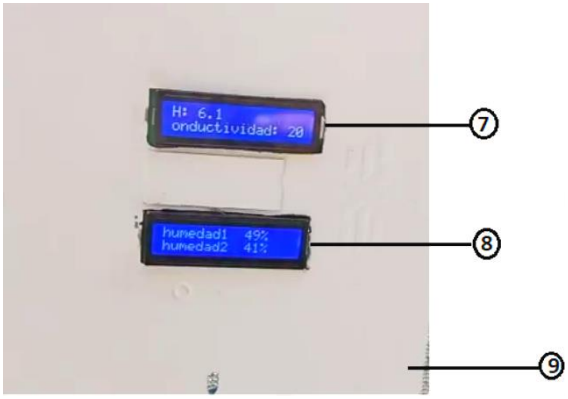


Figura 46. Implementación de pantalla LCD como interfaz

Descripción de numeración de la imagen:

7. Caja metálica
8. interfaz (Arduino - Lcd 2x16) (visualización de variables de monitoreo)
9.interfaz (Arduino - Lcd 2x16) (visualización de variables de control)

Para la implementación de la interfaz se integró el módulo pcf8574, ya que este reduce fallas de conexiones y facilita la interacción a la hora de recibir la información, para la conexión se tuvo en cuenta el protocolo de comunicación LCD

vía I2C, para permitir integrar la placa de desarrollo de Arduino. Posteriormente, en la instalación se puso un jumper Backlight en los terminales del módulo, de esta manera se obtuvo una mejor visualización del LCD por medio de la luz de fondo que proporcionaba este. Los puertos de comunicación SDA y SCL, son los puntos propios a dirigir la información de los datos censados correspondientes a la línea I2C, y ya por último se tienen las conexiones a la alimentación VCC (voltaje) y GND (tierra).

La implementación de la interfaz (Arduino - Lcd 2x16) es útil para la presentación de las variables registradas a través de los sensores de humedad, pH y conductividad, por medio del cual se muestran mensajes de información de los parámetros censados. Dando lugar a un buen empleo de datos y facilidad de manejo e información al usuario.

7.2.8 Instalación e integración del módulo de monitoreo y control de la interfaz

La ejecución del sistema de monitoreo es iniciada por parámetros dados por los sensores de pH y conductividad, el sensor de pH (PH-4502C + SONDA SENSOR E201) y el sensor de conductividad (sensor De Conductividad Tds) está sumergido en un tanque de 5000 ml, el cual se llena a una altura de 30cm, los datos son tomados cada 8 días y son visualizados en la interfaz (pantalla LCD).

Figura 47. Instalación del sistema de monitoreo.

Descripción de numeración de la imagen:

10.Sensor de conductividad
11.Sensor de pH
12.Reservorio de agua
13.conexión de manguera de 1/2´´

Dentro del domo se adecua un depósito de agua de 5000 ml a menos de 1m de distancia de la caja de paso que contiene todos los componentes electrónicos; de la caja al depósito se originan las dos conexiones desde el microcontrolador hasta el depósito para la información del sistema de monitoreo, está censando respectivamente el pH y la conductividad del agua dentro del depósito.

El sensor del pH es estabilizado en la boquilla del depósito a una altura de 15cm, para su respectiva medición y el sensor de conductividad se encuentra sumergido en su totalidad dentro de este.

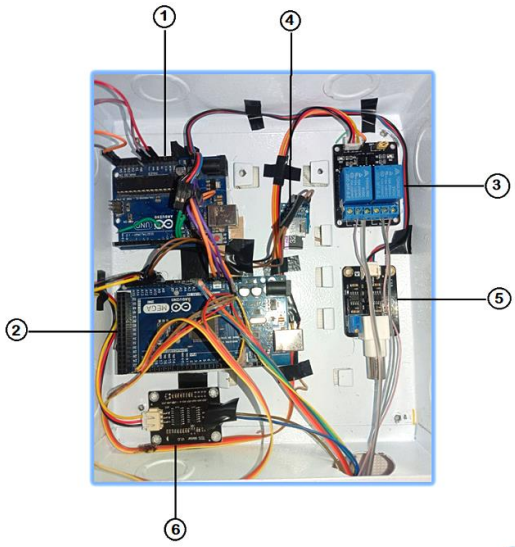


Figura 48. Instalación del sistema de monitoreo y electrónico en general.

Instalación del sistema de monitoreo y electrónico en general.

1. Arduino UNO
2. Arduino MEGA
3. Relé
4. Módulo de micro SD
5. Módulo de pH-4502C
6. Módulo de conductividad del agua TDS

7.2.9 Sistema de pruebas de programación con los módulos

Para poder implementar la programación con el sistema de monitoreo y control de riego, fue necesario tener en cuenta varios sistemas en conjunto, los cuáles se encuentran resumidos en la Figura 49, donde se verificó que los porcentajes de humedad correspondían a lo programado.

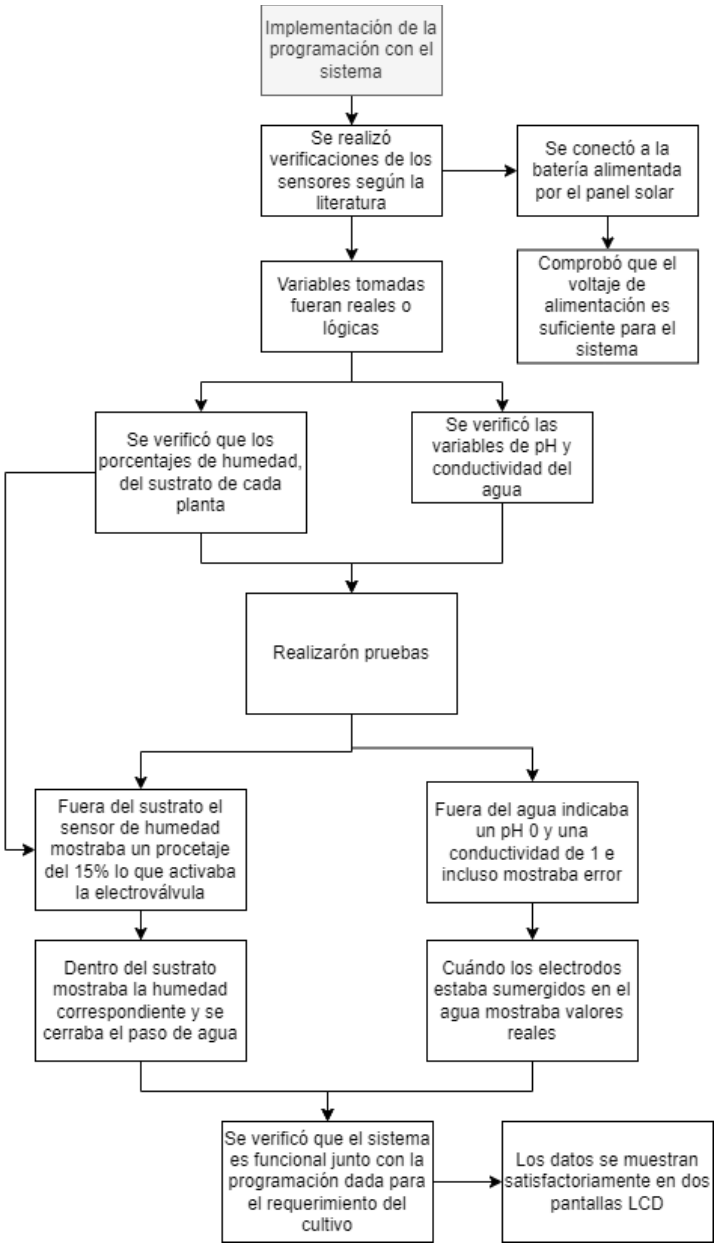


Figura 49. Diagrama explicativo de la implementación de la programación con el sistema; Fuente: (Tapia & Torres,2022).

El método del sistema de riego por goteo fue implementado alrededor de la cama de las plantas de anamú y alrededor de los tubos de PVC para las plantas de pronto alivio, el tubo instalado para el riego fue adaptado a +/- 20 cm de altura al sustrato de forma diagonal a la planta para evitar daños a la hoja, el suministro de agua va por medio de la manguera subterránea que suministra el tanque de reserva.

Figura 50. Instalación del sistema de riego por goteo.

7.2.10 Implementación del cultivo vertical

Para la siembra de especies medicinales se realizaron una serie de pasos con el fin de brindar un acondicionamiento ambiental en incidencia lumínica solar y humedad del suelo para así minimizar factores que afectan en su desarrollo.

Obtención y secado de semillas y estacas

El Anamú conocido también por su nombre original *Petiveria alliacea* fue propagado por semillas, se dejaron expuestas al rayo del sol para el secado apropiado y conveniente a la hora de la siembra, esto fue aconsejado por el médico tradicional (mamo) de la comunidad.

El Pronto alivio conocido también por su nombre original *Lippia alba* fue obtenido por estacas, las estacas son un método de propagación asexual que tiene como

característica la reproducción de individuos iguales genotípicamente al progenitor, es decir que separada de la planta madre, es capaz de formar una nueva planta.

Siembra inicial en semillero

Se destinó un sector del domo como semillero con el fin de obtener la siembra inicial para las estacas de *Lippia alba* (pronto alivio) y las semillas de *Petiveria alliacea* (anamú), la siembra en este sector se realizó con el propósito de tener mejores condiciones ambientales como la baja luminosidad requerida por cada especie. Se tuvieron en cuenta factores como el recurso y tiempo, por lo tanto, se evidencio que salieron los primeros rebrotes en un tiempo de 8 días.

La siembra del Pronto alivio fue realizada en bolsas pequeñas con capacidad de 1kg, ubicadas respectivamente dentro del domo geodésico como se puede observar en la Figura 51 A.

La siembra del Anamú se hizo de forma directa en el sustrato el cual tiene una buena capacidad de retención de humedad y está compuesto en un 80% turba y 20% estiércol de vaca. Posteriormente se realizó el trasplante a los tubos de PVC elevados ubicados dentro del domo geodésico como se puede observar en la Figura 51 B.

Figura 51. Siembra en semillero de planta de Pronto alivio y Anamú; Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

Siembra

Para el trasplante se distribuyó tierra sobre el lugar de siembra y posterior a eso se le aplicó abono orgánico (estiércol de vaca) con la finalidad de recuperar los nutrientes del suelo como lo es el nitrógeno el cual es importante para el crecimiento de la planta Figura 52.

Figura 52. Preparación de sustrato y abono para el posterior trasplante Fuente: (Tapia & Torres,2022).

De igual manera se tuvo en cuenta otras características descritas a continuación:

A: plantas de pronto alivio, reproducción por estacas

El cultivo en esta área se realizó de manera directa en suelo teniendo en cuenta su crecimiento radicular de 0.05 m y una separación del sembrado entre plantas de 0.5 m como se puede observar en la Figura 19.

B: Plantas de anamú, reproducción por semillas

Se realizó la siembra en 5 tubos de PVC con una profundidad requerida de 0.05 m teniendo en cuenta de igual manera que la separación del sembrado entre plantas es de 0.5 m como se puede observar en la Figura 20.

Después del crecimiento en el semillero, se realizó el trasplante de las dos plantas “Pronto alivio y Anamú “.

Figura 53. Implementación del cultivo vertical.

7.2.11 Prueba del funcionamiento del sistema generalizado

Para el funcionamiento general del sistema se procedió a verificar que las conexiones estuvieran de manera correcta y no existiera alguna masa o corto, también que los sensores mostrarán mediante la interfaz datos coherentes de acuerdo a la programación ya realizada, por lo cual se dejó el sistema en funcionamiento 10 minutos, una vez pasado este tiempo se extrajo la microSD y se obtiene resultados.

Al verificar se obtienen datos que serán analizados, por lo cual se decidió poner una segunda prueba con un tiempo de toma de variables de cada hora por un día, una vez transcurrido el tiempo se toman datos y se procede a verificar si son coherentes para así por último dejar funcionando el sistema por 8 días de seguido y así poder verificar su correcta funcionalidad, cabe destacar que estos datos son extraídos y guardados en un bloc de notas.

Una vez se lee la micro SD se obtiene una gráfica que permite evidenciar el censado, cabe resaltar que en la Figura 54 se comporta de una manera exponencial debido a que el sustrato estaba seco e iba aumentando su humedad con el paso del tiempo. En la gráfica de la Figura 54 se evidencia que a medida

que pasa el tiempo, el suelo pierde humedad y ya cuándo sube el pico es debido a la activación del sistema de riego.

En la gráfica de la Figura 55 se evidencia que a medida que pasa el tiempo, el suelo pierde humedad y ya cuándo sube el pico es debido a la activación del sistema de riego.

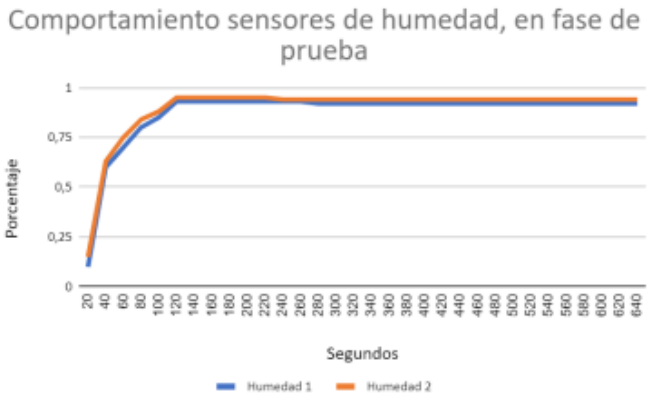


Figura 54. Gráfica de sensor de prueba de humedad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

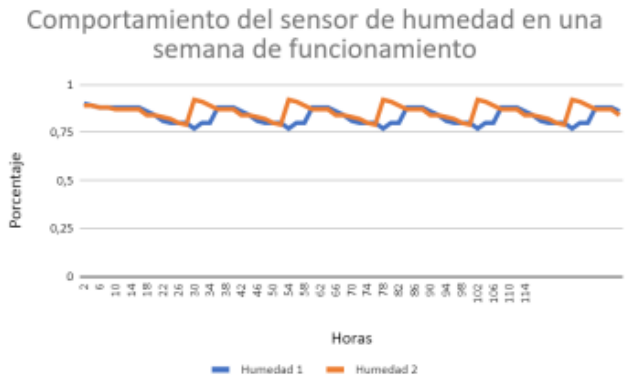


Figura 55. Gráfica de sensor de humedad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

En la Figura 56 Y Figura 57se puede evidenciar las gráficas del sensor de conductividad y de pH el cuál no presenta variaciones debido a que necesita una interacción externa como el cambio de agua del reservorio.

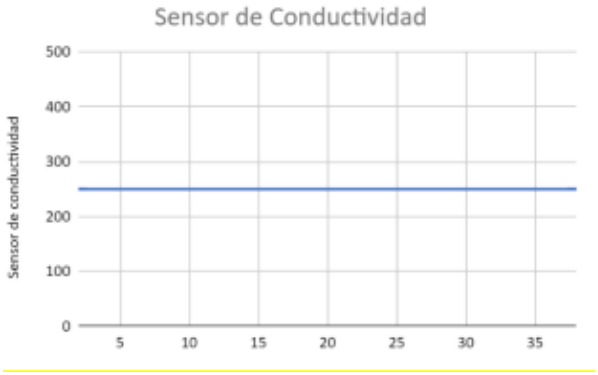


Figura 56. Gráfica de sensor de conductividad, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

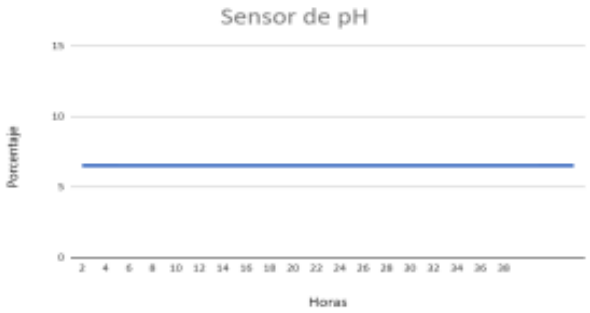


Figura 57. Gráfica de sensor de pH, datos obtenidos del archivo txt, sacados de la microSD. Fuente: (Tapia & Torres, 2022).

7.3 **Fase 3:** Tercer objetivo

Mediante esta fase se evidencia el cumplimiento del tercer objetivo descrito como: "Evaluar el funcionamiento del sistema del cultivo en términos de producción, bajo los parámetros del área foliar, número de hojas y duración del ciclo de la *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* frente a la revisión de literatura del cultivo tradicional"

7.3.1 Medición del área foliar de la hoja

Una vez implementado todo el sistema de riego y de monitoreo se procedió a verificar el crecimiento de las plantas; destacando que la duración del ciclo para la primera cosecha es de 60 a 100 días, esto dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentran las dos especies (Bonilla, 2018) (Diaz.J,

2003)., la frecuencia en la toma de variables se da de manera inicial durante un periodo de 15 días con una medición cada 5 días; posteriormente se realiza la medición cada mes.

Se tuvieron en cuenta:

- Los datos censados por el sistema de monitoreo
- El crecimiento de las plantas en cuestión de ancho y largo de hoja y número de hojas por tallo.

Cabe resaltar que las primeras medidas se realizaron 20 días después de realizar el trasplante el cuál duró un periodo de 25 días aproximadamente y que los datos teóricos presentados también son evidenciados después de la fase de trasplante y que presentan condiciones de los cultivos tradicionales normales de sembrado. Según Sauceda, Gonzales et al (2017) existen varios métodos para medir el área foliar, los cuales son:

- Uso de papel milimétrico
- Gravimetría
- Planimetría manual y fotoeléctrica
- Registro de la parte más larga y ancha de la lámina foliar
- También aplica el análisis con regresión lineal para obtener modelos empíricos, facilitando conocer el área foliar de manera no destructiva.
- Combinación de dos o más de estos procedimientos

Cada uno de estos métodos son aplicables para medir las dimensiones de las hojas por separado. El método utilizado es a partir de mediciones sencillas de largo y ancho de la lámina foliar. Por lo tanto, se obtuvieron los siguientes resultados:

7.3.1.1 *Lippia alba* (Pronto alivio)

Para la *Lippia alba* se escogieron 4 de las plantas sembradas, bajo el criterio de las dos más altas y las dos más bajas, esta medición se realiza desde el sustrato hasta la punta de la rama más alta.

Bernal, Galeano, et al. (1998) expresan que la altura máxima de la planta para el día 60 es equivalente a 45 cm con ancho foliar de 2 cm y un largo de 7 cm generando un área foliar de 14 cm. Por lo tanto, se realiza la siguiente ecuación para así conocer el área foliar para el día 45 que fue el momento de la medición

Planta según revisión bibliográfica = (cm teoría/ 60 días) x 45 días.

Figura 58. A: Altura de la planta de Lippia alba Fuente: (Tapia & Torres,2022). B: Medición del largo de la hoja de la Lippia alba.

Las siguientes mediciones corresponden a los primeros 45 días de crecimiento de la planta.

Tabla 19. Mediciones de la altura de la planta Lippia alba, ancho y largo de la lámina foliar; realizado el día 45 desde la siembra o el día 20 desde el trasplante.

	Altura de la planta (cm)	**Ancho foliar (cm)**	**Largo foliar (cm)**	**Área foliar (cm)**
Planta 1	20	1,6	3.3	5.28
Planta 2	23	1.4	4	5.6
Planta 3	27	1.5	4.8	7.2
Planta 4	30	1.6	4.9	7.84
Planta según revisión bibliográfica	33.75	1.5	5.25	7.87

Posteriormente se espera el tiempo indicado de cosecha que es equivalente según la bibliografía de 60 a 100 días, exactamente en el día 60 se hace el primer proceso de recolección de las hojas debido a que el medico tradicional de la comunidad indica que ya las plantas están en el punto de producción, esto es

evidenciable por el tamaño de las hojas y por el largo del tallo. Después se genera una recolección de las hojas con una frecuencia de 20 a 30 días.

Figura 59. Crecimiento de las plantas de Lippia alba en 60 días y a 150 días después de su trasplante.

Con las hojas ya seleccionadas se procede a escoger dos de las hojas con dimensiones más grandes y 2 de las más pequeñas de la producción (Figura 60) para hacer un estimado del área foliar de las plantas del cultivo de *Lippia alba*.

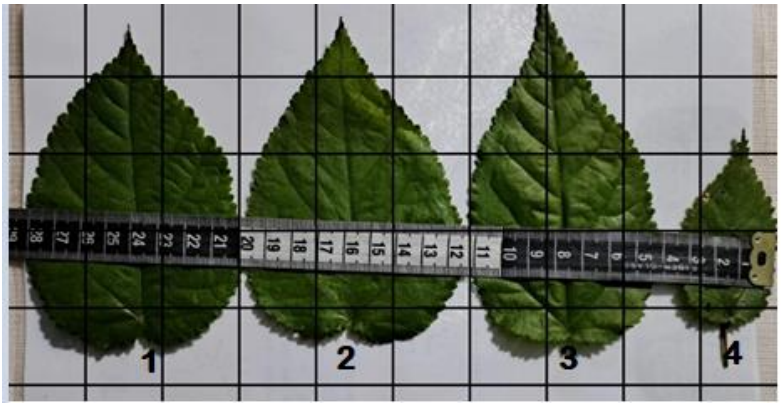


Figura 60. Medición del ancho de la hoja de Lippia alba.

Figura 61. Medición del largo de las hojas de Lippia alba.

En la Tabla 20 se evidencia las medidas tomadas correspondientes a la Figura 60 Y Figura 61.

Tabla 20. Área foliar de las hojas de Lippia alba con 150 días de ciclo vegetativo

Hoja N°	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm)
1	8.2	12	98.4
2	8.5	12	102
3	6.9	13.5	93.15
4	3.4	7.3	24.82

Bonilla, Zambrano et. al (2013) establece que el área foliar en las plantas de un cultivo tradicional es de 72 cm después de más de 130 días donde el ancho corresponde a 6 cm y el largo a 12 cm. En promedio el área foliar de las plantas de *Lippia alba* cultivado en la comunidad indígena Balocá es de 79.59 cm.

Finalmente, el conteo de hojas registra que por planta hay mínimo 9 hojas y máximo 15 (Figura 62) lo que indica que supero el rango debido a que en los cultivos tradicionales estas plantas suelen crecer con un promedio de 13 hojas (Sánchez, Bonilla y Guzmán; 2004).

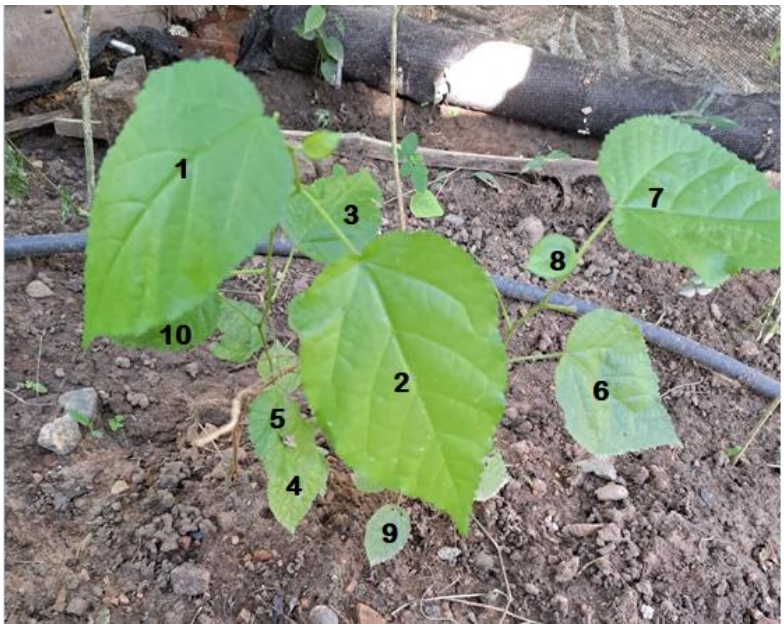


Figura 62. Conteo de hojas de Lippia alba.

7.3.1.2 *Petiverea alliacea* (Anamú)

Para la *Petiverea alliacea* se escogieron 6 de las plantas sembradas, bajo el criterio de las 3 más altas y 3 más bajas, esta medición se realiza desde el sustrato hasta la punta de la rama más alta.

Figura 63. Altura de la Lippia alba. Fuente: (Tapia & Torres,2022).

En la Figura 64 se muestra que el crecimiento de la planta para el día 45 está sobre el nivel mínimo teórico de altura de la planta.

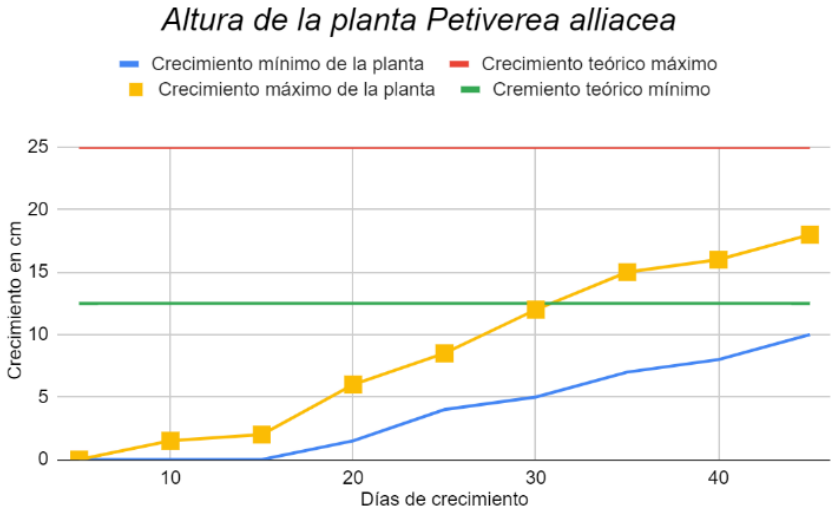


Figura 64. Altura alcanzada en los primeros 45 días de la planta Petiverea alliacea.

La Tabla 21 se observan los datos corresponden a los primeros 45 días de crecimiento de la planta con relación al área foliar.

Tabla 21. Mediciones de la altura de la planta Petiverea alliacea, ancho y largo de la lámina foliar; realizado el día 45 desde la siembra o el día 20 desde el trasplante.

	Altura de la planta (cm)	Ancho foliar (cm)	Largo foliar (cm)	Área foliar (cm)
Planta 1	10	1,5	5,4	8,1
Planta 2	12	1,8	5,3	9,54
Planta 3	12,3	2	5,2	10,4
Planta 4	16,6	2.2	6,8	14,96
Planta 5	17,5	2	7,3	14,6
Planta 6	18	3	7,9	23,7
Planta según revisión bibliográfica	25	4	8	32

La planta *Petiveria alliacea* para el día 120 de haberse sembrado tiene una altura de 150 cm si no se ha podado, ancho foliar de 5 cm y un largo foliar de 10 cm, tiene poco crecimiento foliar después del día 60 de sembrado, pero si tiene aumento en la producción de número de hojas y en el crecimiento del tallo alcanzando hasta los 200 cm (Invesa, 2020).

Figura 65. Medición del largo de la hoja de *Petiveria alliacea*.

Posteriormente se espera el tiempo indicado de cosecha que es equivalente según la bibliografía de 90 a 100 días, pero después de los 70 días se hace el primer proceso de recolección de las hojas de *Petiveria alliacea* debido a que el medico tradicional de la comunidad indica que ya las plantas están en el punto de producción. Después se genera una recolección de las hojas con frecuencia de 20 a 30 días.

Figura 66. Crecimiento de las plantas de Petiveria alliacea en 70 días y a 150 días después de su trasplante.

Con las hojas ya seleccionadas se procede a escoger tres de las hojas con dimensiones más grandes y 3 de las más pequeñas de la producción (Figura 67 Y Figura 68) para hacer un estimado del área foliar de las plantas del cultivo de *Petiveria alliacea.*

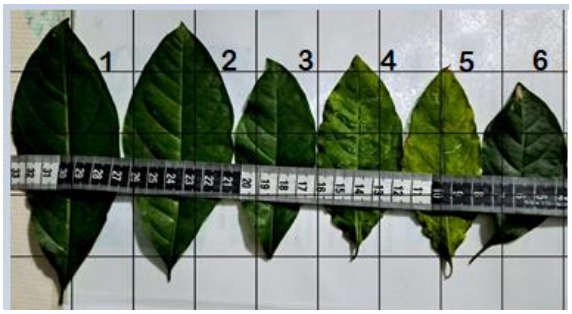


Figura 67. Medición del ancho de la hoja de Petiveria alliacea.

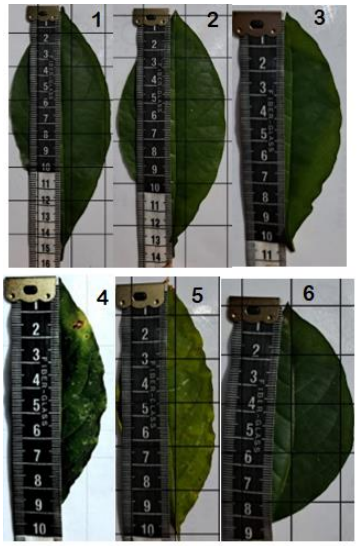


Figura 68. Medición del largo de la hoja de Petiveria alliacea.

En la Tabla 22 se evidencia las medidas tomadas correspondientes a la Figura 67 Y Figura 68.

Tabla 22. Área foliar de las hojas de Petiverea alliacea con 150 días de ciclo vegetativo.

Hoja N°	Ancho foliar (cm)	Largo foliar (cm)	Área foliar (cm)
1	6	15,5	93
2	5,9	13,9	82,01
3	4,2	10,6	44,52
4	4,6	9,8	45,08
5	4,3	10,2	43,86
6	4	8,4	33,6

Según Invesa (2020) indica que las hojas de *Petiverea alliacea* tienen un tamaño igual a 5 cm de ancho y 10 cm de largo generando un área foliar igual a 50 cm, si se genera un promedio del área foliar de las plantas cultivadas en el proyecto se obtiene un total de 57,01 cm.

Finalmente, el conteo de hojas registra que por planta hay mínimo 15 hojas y máximo 20 (Figura 69) lo que indica que está dentro del rango debido a que en los cultivos tradicionales estas plantas suelen crecer con un promedio de 15 hojas (Lopez p., Lopez M, et al (2020).

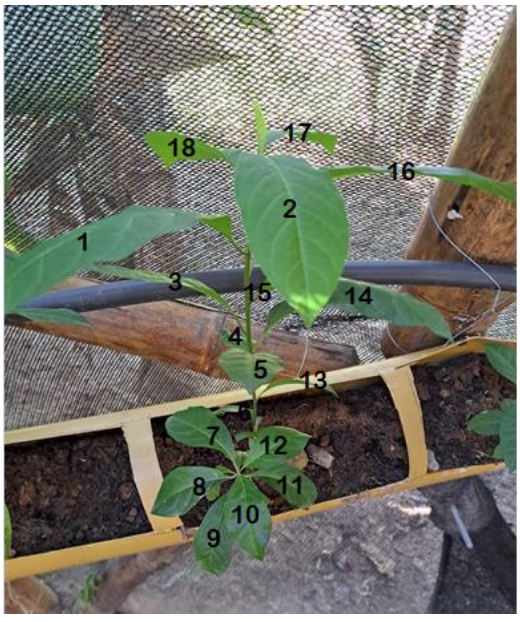


Figura 69. Conteo de hojas de Lippia alba.

7.3.2 Capacitación a la comunidad y encuesta de satisfacción

Finalmente, se llevaron a cabo tres reuniones con la comunidad. En la primera reunión, se entregó el proyecto funcional que incluía las dos especies de plantas medicinales, junto con un manual de usuario detallado. En la segunda reunión, se realizó una capacitación sobre el funcionamiento general, abordando aspectos detallados de los sistemas que componen la parte eléctrica y electrónica; es decir el monitoreo y control y el suministro energético por medio de las placas solares. Durante esta reunión, también se discutió en el acta la posibilidad de sembrar otros tipos de plantas medicinales.

En la tercera reunión, se entregaron infografías informativas y se complementó información específica sobre el funcionamiento del panel solar y el manejo de los sensores, teniendo en cuenta las dudas e inquietudes que les surgieron durante el manejo autónomo del sistema. Además, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción para obtener información sobre cómo la comunidad estaba utilizando la producción de las plantas medicinales y su percepción al respecto.

Figura 70. Personas de la comunidad respondiendo la encuesta.

De un total de 15 personas que participaron en la encuesta, se realizaron dos preguntas específicas para evaluar el conocimiento sobre las dos especies medicinales. En relación a la especie *Lippia alba*, se encontró que 7 personas tenían conocimiento de ella. Por otro lado, en cuanto a la especie *Petiveria alliacea*, se evidenció que 11 personas la reconocían. Estos resultados se pueden apreciar claramente en el diagrama de barras presentado en la Figura 71.

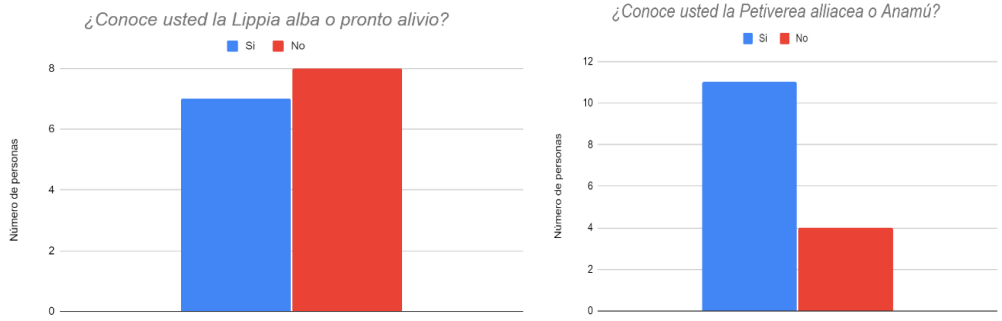


Figura 71. Gráfico de barras sobre el reconocimiento de la Lippia alba y la Petiverea alliacea.

De igual manera se preguntó qué tipo de tratamientos optarían en caso de una enfermedad; prefiriendo las personas menores de 50 años los tratamientos farmacológicos junto con medicina tradicional y 5 solo medicina tradicional estos últimos con edades superiores a los 60 años.

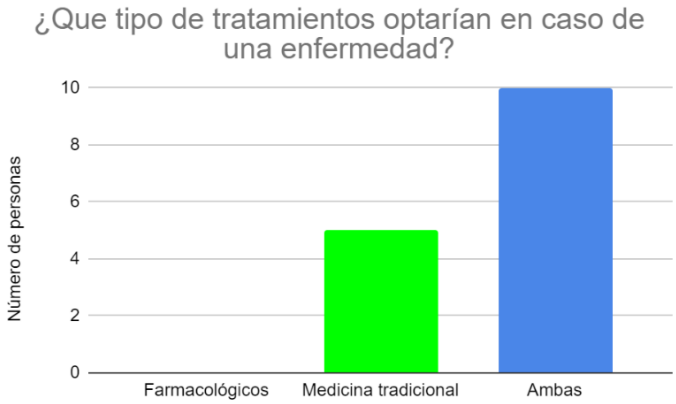


Figura 72. Gráfico de barras sobre preferencias a tratamiento de

Finalmente se preguntó que efecto positivo puede generar el proyecto en la comunidad, teniendo un nivel de aceptación mayor en la tradición y cultura, seguido por salud con tratamiento en medicina tradicional y por último en el conocimiento y aprendizaje.

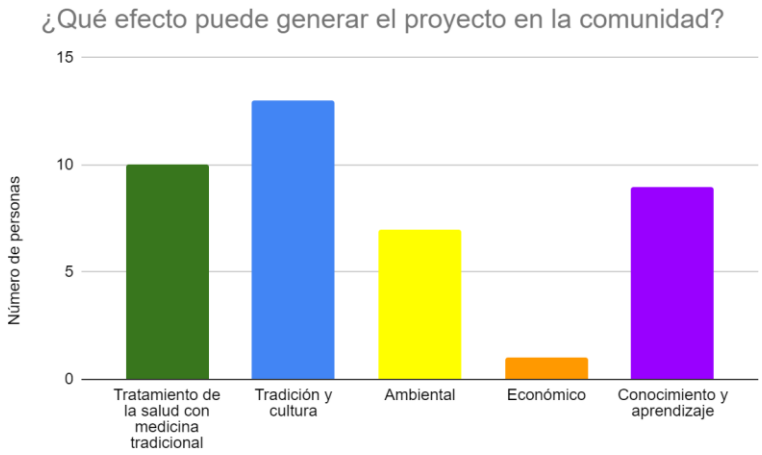


Figura 73. Gráfica del efecto que genera el proyecto en la comunidad.

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El área foliar de la *Lippia alba* producida dentro del sistema de cultivo vertical fue 10,54% mayor que el área de las hojas de la misma especie vegetal reportada por Bonilla, Zambrano, Et al (2013). De la misma manera cuando se comparó el número de hojas producidas por cada planta este fue 15,38% mayor comparándolo con la revisión bibliográfica.

En el caso de la *Petiveria alliacea* tuvo un comportamiento similar ya que el tamaño de sus hojas presentó un crecimiento promedio del 14.02% contra lo reportado por Invesa (2020) para la misma especie vegetal. En cuanto al número de hojas producidas se evidencia que el sistema de monitoreo tuvo un efecto positivo ya que la cantidad de hojas por planta fue de hasta el 25% mayor que la reportada por Lopez p., Lopez M, et al (2020).

Lo anterior demuestra que el conjunto de sistemas implementados permite un mejor desarrollo vegetativo que los cultivos tradicionales, de manera inicial el sistema de domo junto con el recubrimiento de la poli sombra al 80% ayudó a reducir la irradiación solar directa sobre las plantas disminuyendo el estrés que sufren las mismas, permitiendo que se genere una adecuada circulación del aire, disminuyendo el calor y mejorando la humedad relativa al interior de la cobertura (Tesicol, 2022).

Es importante destacar que las plantas se mantuvieron a una humedad del sustrato mínima del 80% para que tuviera el crecimiento esperado de igual manera no podía superar una humedad del 90% ya que podía provocar y generar enfermedades en las plantas que están asociadas a esto (Bonilla,2018) (Díaz.J, 2003). El pH del agua se mantuvo en un rango de 6.5 a 7 y el electro conductividad se mantuvo de 204 a 210 mS/cm (Ginés y Mariscal, 2002) por lo cual no hubo inconvenientes con la salinización del agua ya que el último parámetro puede ser afectado por la concentración de las sales disueltas. Cabe resaltar que estos rangos de valores según la revisión bibliográfica indican que el

agua fue propicia para el riego debido a que cumplen con las propiedades químicas, que determinan la calidad del agua. (Cropaia, 2023).

Como se puede evidenciar en la Tabla 19 y Tabla 21 cuando se tomaron las mediciones en el día 45 las plantas estaban más pequeñas de lo que indicaba la revisión bibliográfica esto pudo ser debido al estrés producido en el proceso de trasplante ya que las plántulas inicialmente fueron cultivadas dentro de un vivero bajo sombra y luego posteriormente fueron transportadas una distancia aproximada de 30 Km para su sembrado dentro del sistema propuesto, además de las elevadas temperaturas que tuvo la zona en esa temporada que fueron mayores a 38 °C. No obstante, después del día 25 de sembrado y gracias al monitoreo constante de humedad las plantas tuvieron un crecimiento acorde a lo reportado por Invesa (2020) y Lopez p., Lopez M, et al (2020) de igual manera el total de las 70 plantas sembradas dentro del domo llegaron a su ciclo vegetativo, sufriendo nada más de estrés al momento del trasplante, pero sin llegar a marchitarse.

Es importante destacar que la comunidad indígena comenzó a aprovechar las hojas de la planta a partir del día 60 del ciclo vegetativo para la *Lippia alba* y a partir del día 70 para la *Petiveria alliacea*. Esto debido a que, en ese instante del ciclo, los tallos alcanzaron una altura promedio de 1 m y 0.5 m respectivamente, y las hojas presentaban un área foliar de 60 cm y 40 cm, lo cual es adecuada para su producción. A partir de esto, se les dio un uso en la medicina tradicional de la comunidad, ya que, basándose en su conocimiento empírico, el tamaño de las plantas era apropiado para su utilización.

Finalmente, el gobernador de la comunidad indígena indica que más o menos 50 personas o 13.6 % de la población se han visto beneficiadas de las propiedades medicinales de las plantas para el tratamiento de enfermedades como lo son dolor muscular, hipertensión, diabetes y también como antiinflamatorio; además que a futuro se considera poder abrir un taller para jóvenes e interesados sobre las

plantas medicinales y así ir recuperando las tradiciones culturales arraigadas a la salud.

9 IMPACTO

9.1 Impacto generado en la implementación del proyecto.

Para determinar la sostenibilidad dentro del proyecto y evaluar el impacto social del uso de las plantas medicinales en la comunidad, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Siembra de plantas medicinales en la comunidad indígena.

En la implementación del proyecto se destinó el 5% del terreno total para la construcción del domo geodésico en la comunidad indígena, Dentro de este porcentaje, se asignó el 62.8% al cultivo de plantas medicinales, lo cual evidencia una planificación y un enfoque estratégico en el uso del espacio disponible.

En cuanto al número de especies cultivadas, se registró un total de 70 plantas medicinales en el área de cultivo predispuesta, que abarca aproximadamente 18.84 metros cuadrados. Esta diversidad de especies refleja el interés de la comunidad indígena por preservar y promover el conocimiento tradicional relacionado con las propiedades curativas de las plantas.

Al evaluar la cantidad de plantas medicinales cosechadas, se observa un aumento en la siembra en comparación de otros cultivos bajo las mismas condiciones climáticas, esto según la información bibliográfica consultada. Lo que indica un crecimiento en la implementación de prácticas de cosecha sostenible que permiten un equilibrio entre la disponibilidad y la utilización de los recursos naturales.

Esta iniciativa ejemplifica la búsqueda de la sostenibilidad y el equilibrio en el manejo del territorio, combinando la implementación de infraestructuras innovadoras con la valorización y práctica de la medicina ancestral, en beneficio del bienestar comunitario y el fortalecimiento de la identidad cultural. Por lo cual estos datos destacan la importancia que la comunidad indígena otorga a la siembra y conservación de plantas medicinales, así como su compromiso con la gestión sostenible de los recursos naturales.

- Beneficios terapéuticos de las plantas medicinales *Lippia alba* y *Petiveria alliacea* en la población de la comunidad indígena Balocá.

El estudio realizado por Bonilla (2004) revela que la planta medicinal *Lippia alba* tiene una amplia variedad de usos en la comunidad indígena Balocá, abarcando 7 categorías de tratamiento para diferentes padecimientos y necesidades, como sedante, antidiabético, diurético, emenagogo, desinfectante en forma de baños, trastornos digestivos e hipertensión. Estos hallazgos demuestran el impacto positivo que tiene el cultivo de esta planta medicinal en la comunidad, ya que proporciona una amplia gama de beneficios para la salud y el bienestar de sus miembros.

Es importante destacar que la hipertensión afecta a una gran parte de la población, con una prevalencia del 81% y un porcentaje del 13.3% entre los adultos mayores de 60 años. Estos datos resaltan la relevancia del uso de la planta medicinal *Lippia alba* en el tratamiento de esta condición, lo cual se refleja en su utilidad significativa en el consumo interno de la comunidad.

En el caso de la planta medicinal *Petiveria alliacea*, se encontraron 9 categorías de tratamiento que destacan su uso como analgésico-antipirético, antiinflamatorio, anestésico, antiespasmódico, anti dispéptico, hipoglucemiante, inmunoestimulante, antitumoral y antimicrobiano (Duharte et al., 2011). El cultivo y la obtención de las hojas de esta planta medicinal generan un impacto directo en el 19% de la población de la comunidad indígena Balocá que padece diabetes.

Sin embargo, también es importante resaltar que se genera un impacto indirecto en la población que requiere el uso ocasional de las plantas medicinales para el tratamiento de otras enfermedades, como fiebre, gripe, inflamación o quemaduras. Esto demuestra la versatilidad y beneficios adicionales que las plantas medicinales pueden proporcionar a la comunidad en su conjunto.

El uso de plantas medicinales como la *Lippia alba* y la *Petiveria alliacea*, que han demostrado ser eficaces en el tratamiento de diabetes e hipertensión, ha

contribuido a controlar los síntomas y reducir los riesgos asociados a estas condiciones de salud, generado un impacto significativo y positivo en el bienestar de los miembros de la comunidad.

Por otro lado, cabe destacar la autonomía que ha brindado el acceso a estas plantas medicinales dentro de la comunidad. Al cultivar y obtener las plantas localmente, se ha reducido la dependencia de medicamentos comerciales y se ha promovido la autosuficiencia en el cuidado de la salud.

- Impacto social y cultural

Durante el desarrollo del proyecto, se logró una destacada participación comunitaria y colaboración en la producción de plantas medicinales. El médico tradicional o mamo de la comunidad, líderes comunitarios y expertos desempeñaron un papel activo en la toma de decisiones relacionadas con la producción y manejo de estas plantas beneficiosas.

Para evaluar el impacto social y cultural del uso de las plantas medicinales en la comunidad, se realizaron encuestas y entrevistas. Los resultados revelaron que un significativo 85% de los encuestados expresaron su importancia y participación activa en las diversas actividades relacionadas con las plantas medicinales, incluyendo su siembra, cuidado, cosecha y procesamiento.

Asimismo, se llevaron a cabo reuniones periódicas con la comunidad, en las cuales participaron el mamo y los líderes comunitarios. Estos encuentros se convirtieron en espacios fundamentales para la discusión y toma de decisiones en torno a la producción de plantas medicinales. Además de fomentar el intercambio de conocimientos tradicionales, se adaptaron las prácticas a las necesidades.

La colaboración entre la comunidad y los expertos en medicina natural y etnobotánica fue esencial para asegurar que las prácticas de producción fueran adecuadas y respetuosas con la cultura y tradiciones indígenas. En este sentido,

un destacado 92% de los encuestados expresaron sentirse escuchados y valorados en las decisiones tomadas a lo largo del proyecto.

La alta participación comunitaria y colaboración reflejaron un sólido sentido de apropiación y responsabilidad compartida en la producción de plantas medicinales. Estas prácticas no sólo fortalecieron la identidad cultural de la comunidad, sino que también contribuyeron a la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

Adicionalmente mediante el ejercicio de cosecha de las plantas medicinales el mamo o médico tradicional de la comunidad expresó la apertura de talleres de enseñanza para los jóvenes el cual corresponde al 27% de la población, donde se tomarán temas referentes a las diferentes prácticas y usos que se les da a las plantas medicinales generando así fortalecimiento cultural y recuperación de antiguos saberes dirigidos al tratamiento de las diferentes enfermedades que se irán transfiriendo de generación en generación.

- Sostenibilidad

Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la producción de plantas medicinales, protegiendo la biodiversidad, los recursos naturales y las prácticas culturales asociadas, se tiene en cuenta la conservación del agua, el crecimiento de las plantas y disponibilidad de recurso hídrico a largo plazo. Gracias al sistema de riego automatizado, se logró reducir el consumo de agua en un 95 % y se utilizó un 99 % menos de tierra que la agricultura tradicional (Agronet, 2021), reduciendo su uso y evitando desperdicios.

Para garantizar la sostenibilidad hídrica en la producción de plantas medicinales, se implementó un sistema de riego por goteo controlado por sensores de humedad. Esta tecnología permitió un uso eficiente del agua al suministrar de manera precisa y óptima a las plantas; evitando el desperdicio de agua al suministrar solo la cantidad necesaria en el momento adecuado. Además, al administrar el agua directamente a las raíces de las plantas, se minimizó la

evaporación y maximizó la absorción, lo que contribuyó a un uso eficiente de este recurso vital.

Este enfoque de riego también ayudó a la productividad de las plantas medicinales, ya que garantizó que recibieran la cantidad precisa de agua en un rango del 80% al 90% según los requerimientos de humedad de cada cultivo. Al evitar el exceso o la escasez de agua, se promovió el desarrollo vegetativo esperado.

El uso eficiente del agua en la producción de plantas medicinales no solo contribuyó a la sostenibilidad ambiental al conservar este recurso escaso, sino que también tuvo beneficios económicos al reducir los costos asociados con el uso excesivo de agua. Además, al minimizar el impacto negativo en los recursos hídricos locales, se preservó la disponibilidad de agua para otros usos y para las generaciones futuras.

Adicionalmente el recurso de energía renovable brinda al proyecto la posibilidad del monitoreo y control continuo ya que no depende de una energía externa (On grid) sino propiamente de la energía solar proporcionada (Off grid) que es equivalente a más o menos 4.0 KW/m2.

También, cabe destacar que para aumentar la vida útil de los dispositivos electrónicos se debe seguir el protocolo RAEE (hipervínculo) y el manual de uso y mantenimiento, ya que al momento del daño o finalización de vida útil de alguno de estos dispositivos es de vital importancia generar un reemplazo o cambio de manera inmediata para así garantizar que el sistema siga brindando los resultados esperados.

Sin embargo, de manera desafortunada al momento de desechar alguno de estos dispositivos se genera un impacto negativo debido a la contaminación al agua o al suelo, esto dependerá netamente de cómo y dónde se realice el proceso de eliminación por lo cual es importante cuidar y mantener adecuadamente los dispositivos RAEE generando que la vida útil se prolongue desde un 25% hasta el

50% sin superar la obsolescencia programada (Andromines, 2019) y así poder reducir el impacto ambiental.

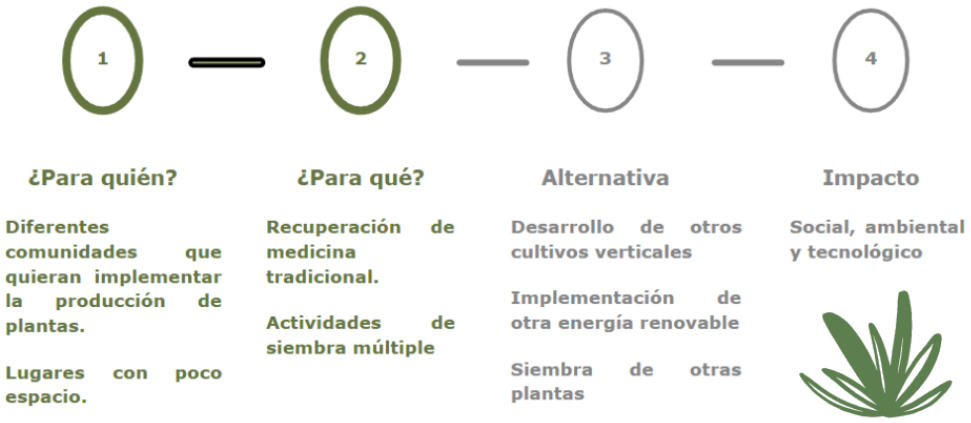


Figura 74. Alcance del proyecto.

10 CONCLUSIONES

Se destaca la importancia de las plantas medicinales y su siembra como una estrategia fundamental para la prevención de enfermedades y la promoción de la salud desde la medicina tradicional. Este proyecto permitió abordar las necesidades de la comunidad indígena Balocá, ofreciendo una solución tecnológica que respeta y valora los conocimientos transmitidos de generación en generación.

El diseño y montaje de los sistemas en conjunto, incluyendo el sistema de cultivo vertical, el sistema hídrico y el sistema de energías renovables, ha sido exitoso gracias a las medidas y pautas establecidas. La elección de la guadua como material para la estructura del cultivo vertical y las camas de cultivo, así como la implementación de energías renovables, demuestran un enfoque integral y responsable en el diseño del sistema. Estas decisiones contribuyen a maximizar la eficiencia, vida útil del sistema y a reducir el impacto ambiental en la comunidad.

La implementación de un sistema de energías renovables ha sido una solución clave para abordar la intermitencia en el suministro de energía eléctrica en el cabildo de la comunidad Balocá. Esto ha garantizado el funcionamiento continuo del sistema de monitoreo y control.

El monitoreo estratégico del pH y la conductividad eléctrica del agua, en relación con el llenado del reservorio, ha asegurado un control efectivo de las variables y la calidad del agua utilizada en el sistema de cultivo vertical. De igual forma la combinación del sustrato arcilloso con turba y abono orgánico animal (Migajón) en el cultivo ha permitido mantener la condición esperada de humedad en el suelo durante períodos prolongados.

Los resultados obtenidos, como el crecimiento de las plantas estudiadas, demuestran la efectividad de las decisiones tomadas en el diseño y la implementación del proyecto. El cumplimiento de los objetivos establecidos y la entrega de una solución funcional a la comunidad indígena refuerzan la

importancia de las plantas medicinales, preservando el conocimiento tradicional y generando beneficios en términos de salud, cultura y sociedad.

11 RECOMENDACIONES

El manual de uso y operación incluye recomendaciones fundamentales para el mantenimiento y correcto uso de los sistemas implementados, con el objetivo primordial de prolongar la vida útil de los componentes individuales y del sistema en su conjunto. Estas recomendaciones son de vital importancia y deben seguirse de manera rigurosa para garantizar un funcionamiento óptimo y evitar posibles fallos o daños en los equipos; el cumplimiento de estas, contribuye a maximizar la eficiencia y durabilidad de los sistemas, asegurando así su adecuado desempeño a lo largo del tiempo.

En caso de que la comunidad desee sembrar otras especies medicinales, es importante seleccionar aquellas que tengan requerimientos de humedad similares a la *Lippia alba* y la *Petiveria alliacea*. En caso de querer ajustar los porcentajes de humedad, se debe informar a las estudiantes encargadas del proyecto para que puedan acercarse y realizar los cambios necesarios en la programación del sistema de riego automatizado. Esto asegurará un entorno óptimo para el crecimiento y desarrollo de las nuevas plantas medicinales.

12 BIBLIOGRAFÍA

ACNUR. (2011). Comunidades indigenas, la agencia de la ONU para los refugiados, disponible en https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/Pueblos_indigenas/2011/Comunidades_indigenas_en_Colombia_-_ACNUR_2011.pdf

Acosta & Molina Castillo, A. (2019). Aplicabilidad biotecnológica de aceites esenciales de Lippia alba. disponible en https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17821/41545222.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Acosta, L., Rodríguez., C, & Sánchez, E. (2001). Instructivo técnico de Calendula officinalis. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 6(1), 23-27., http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962001000100006&lng=es&tlng=pt

Adromines, 2019, Absolencia programada, tomado de https://andromines.net/es/2019/04/26/vida-util-y-ciclo-de-vida-de-los-moviles-y-dispositivos-electronicos/#:~:text=Los%20dispositivos%20antiguos%20pueden%20durar,se%20le%20llama%20obsolescencia%20programada.

Aguado da Costa, J. (2012). Desarrollo de un sistema automatizado para un invernadero

Aguila, Karina & Mc Leod, Claudia & Müller, Gabriel & Cárcamo, Javiera. (2020). Informativo Construcción de Microtunel. 10.13140/RG.2.2.20226.02246.

Agroboca. (2021). *Tipos de agricultura y calidad en frutas y verduras*. [en línea] Disponible en: <https://www.agroboca.com/tipos-de-agricultura>

Agronet, 2021, Por qué la agricultura vertical podría ser la respuesta a nuestros problemas ambientales y alimenticios, tomado de https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Por-qu%C3%A9-la-agricultura-vertical-podr%C3%ADa-ser-la-respuesta-a-nuestros-problemas-ambientales-y-alimenticios.aspx#:~:text=La%20agricultura%20vertical%20consume%2095,una%20granja%20de%20agricultura%20tradicional.

Alcaldía municipal de Natagaima, (2020), Natagaima es Tradición. http://www.natagaimatolima.gov.co/turismo/natagaima-es-tradicion

Andrade, S. M. G., Martínez, L. E., Morales, P., Ortiz, G. R., Sandoval, H., & Zuluaga, G. (2005). Aproximación a la medicina tradicional colombiana. Una mirada al margen de la cultura occidental. Revista ciencias de la salud, 3(1). Disponible en https://revistas.urosario.edu.co/index.php/revsalud/article/view/719

ANGEL MARCOS BELTRÁN ZAPATA. (2013). “PRE-FACTIBILIDAD DEL CULTIVO DE SÁBILA (Aloe vera L.) PARA EXPORTACIÓN EN LA ZONA DEL CANTÓN MILAGRO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.” http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5202/1/BELTRANZapataANGEL.pdf

Ángel, M. (2014). El recurso genético cempoalxóchitl (Tagetes spp.) de México (Diagnóstico). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/225091/El_recurso_gen_tico_del_cempoalxochitl__tagetes_spp__de_mexico__diagnostico_.pdf

Ángeles López, Guadalupe Esther y Brindis, Fernando y Cristians Niizawa, Sol y Ventura Martínez, Rosa (2014). Cannabis sativa L., una planta singular. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 45 (4)., ISSN: 1870-0195. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57940028004

Arora, D., Rani, A., & Sharma, A. (2013). A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus Calendula. Pharmacognosy reviews, 7(14), 179–187. https://doi.org/10.4103/0973-7847.120520

Atlas de Radiación Solar de Colombia. (n.d.). disponible en http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

Barón, E., 2019. Agritectura Museo interactivo de agricultura urbana Bogotá. [online] Ciencia.lasalle.edu.co. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2002&context=arquitectura>

Baumann, M. D. (2021). Agrobiodiversity's caring material practices as a symbolic frame for environmental governance in Colombia's southern Tolima. Geoforum. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.01.002

Bernal, H., García, H., & Quevedo, F. (2011). Pautas para el conocimiento, conservación y uso sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia. In Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Bernal, R., G. Galeano, A. Rodríguez, H. Sarmiento y M. Gutiérrez. 2012. prontoalivio. (Lippia alba) en nombres Comunes de las Plantas de Colombia. www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/detalle/ncientifico/33260/

Bernal, Andy. 2015. Redalyc.org. *CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y SUS FACTORES LIMITANTES DE LA REGIÓN DE MURGAS, PROVINCIA LA HABANA*. [en línea] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193239249005.pdf>

Bioespacio (2017), SUSTRATO: MEDIOS Y TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN disponible en https://bioespacio.co/sustrato-medios-tecnicas-produccion/

Bonilla R, 2004. El cultivo de pronto alivio Lippia alba. [en línea] Repositorio.unal.edu.co. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8727/9588095182.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado el 26 de noviembre de 2021].

Bonilla, C., Salvador, M., & Orozco, S. (2018). (PDF) Descripción botánica, manejo del cultivo y poscosecha de Lippia alba (MILL.). https://www.researchgate.net/publication/324673163_Descripcion_botanica_manejo_del_cultivo_y_poscosecha_de_Lippia_alba_MILL

Bonilla, C., Sánchez, M., Delgado, J., Zambrano, E., Buitrago, F., Castro, D. (2013). Descripción botánica, manejo del cultivo y poscosecha de Lippia alba (MILL.).

Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). Manual de Riego y Drenaje. 74 – 86. https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1338

Carbonell, P. (2015, December 7). Domo geodésico on Vimeo. https://vimeo.com/161098323

Cardona-Arias, J. A. (2012). Sistema médico tradicional de comunidades indígenas Emberá-Chamí del Departamento de Caldas-Colombia The traditional medical system of the Emberá-Chamí Indians in the Caldas department, Colombia. Rev. Salud Pública, 14(4), 630–643. http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v14n4/v14n4a08.pdf

Carranza, J. E., Moreno-Burbano, S. A., Carranza, J. E., & Moreno-Burbano, S. (2013). Tamaño y estructura vertical de la cadena de producción industrial colombiana desde 1990. Borradores de Economía; No. 751.

Carranza, R. R. (2012). Los productos de Cannabis sativa: situación actual y perspectivas en medicina. Salud mental, 35(3), 247-256.

Casierra-Posada, F., Ávila-León, O., & Riascos-Ortíz, D. (2012). Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. Temas agrarios, 17(1), 60-71.

CELSIA TOLIMA S.A. E.S.P. (2018). CRITERIOS DE DISEÑO Y NORMAS PARACONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES DEDISTRIBUCIÓN Y USO FINAL DE LA ENERGÍA. https://www.celsia.com/wp-content/uploads/2020/09/CAPITUO-6-ENERGIAS-RENOVABLES-NO-CONVENCIONALES.pdf

Centre for Agricultural Bioscience International, (2019), Cordilina fruticosa (ti plant): http://www.cabi.org/isc/datasheet/11866

Ciancaglini, N. Prosap.gov.ar. *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. [en línea] Disponible en: <http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20 (R-001) -% 20Gu% C3% ADa% 20para% 20la% 20determinaci% C3% B3n% 20de% 20textura % 20de% 20suelos% 20por% 20m% C3% A9todo% 20organol% C3% A9ptico.pdf>

Chen (2021), La estructura del sustrato influye en la capacidad de retención de agua, disponible en https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-estructura-del-sustrato-influye-en-la-capacidad-de-retencion-de-agua/

CNMH. (2020, August 14). Pueblos indígenas, víctimas de violencias de larga duración - Centro Nacional de Memoria Histórica. https://centrodememoriahistorica.gov.co/pueblos-indigenas-victimas-de-violencias-de-larga-duracion/

Comisión Colombiana de Juristas. (2019). Radiografía de la restitución de tierras en Colombia. https://www.coljuristas.org/documentos/tmp/Radiografia_de_la_restitucion_de_tierras_en_Colombia_2019.pdf

Cortes, G., 2018. Área de investigación sobre conflicto y dinámicas sociales. Disponible en: <https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/1400/DDA-spa-2018-Mola_toponimia_de_los_sitios_sagrados_del_pueblo_Pijao_en_el_municipio_de%20Natagaima?sequence=1&isAllowed=y 20>

Cortolima. (2017). El Tolima, potencia en energía limpia | CORTOLIMA. https://cortolima.gov.co/boletines-prensa/tolima-potencia-energ-limpia

Cristobal, M., Lozzia, M., & Paéz, V. (2009). Commelina obliqua Vahl: Un nuevo citotipo para Argentina. Lilloa, 46(1-2), 52-57. Recuperado a partir de http://www.lillo.org.ar/journals/index.php/lilloa/article/view/449

Cropaia, 2023, la calidad del agua de riego, tomado de https://cropaia.com/es/blog/calidad-agua-de-riego/#:~:text=Los%20par%C3%A1metros%2C%20o%20propiedades%20qu%C3%ADmicas%2C%20que%20determinan%20la,del%20agua.%20Estos%20ser%C3%A1n%20explicados%20brevemente%20aqu%C3%AD%20abajo.

Cruz E., Can C., Sandoval M., Bugarin R., Robles A., & Juarez P., (2013). Sustratos en la horticultura. CONACYT. Disponible en http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/719/1/Sustratos%20en%20la%20horticultura.pdf

Cuevas, F. D. M., CERECERO, C. D. C., GARCÍA, J. A., NARVÁEZ, J. V., & VIVEROS, J. A. F. (2020). SISTEMA DE PRODUCCIÓN BIORRACIONAL DE HORTALIZAS EN MACROTÚNEL COMO ALTERNATIVA INNOVADORA. Innovación en Biotecnología I, 113.

Diaz, J. (2003). Caracterización del mercado colombiano de plantas medicinales y aromáticas. disponible en www.humboldt.org.co

DNP, 2021. Departamento nacional de planeación. Agua Normatividad. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/Agua-Normatividad--.aspx>

Duharte, A. B., LAFFITA, I. U., SUÁREZ, M. C., BETANCOURT, J. E., ZAPATA, E. P., CASTILLO, A. A., ... & RODRÍGUEZ, M. Z. L. (2011). Efecto protector de Petiveria alliacea L. (Anamú) sobre la inmunosupresión inducida por 5-fluoruracilo en ratones Balb/c. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 10(3), 256-264. Disponible en https://www.redalyc.org/pdf/856/85618379009.pdf

Duque, F. S., & Saldarriaga Higuita, L. (2020). Sistema de riego automatizado para una huerta escolar, basado en una red inalámbrica de sensores.

ECOSUR. (2000). La División de Sistemas de Producción Alternativos de ECOSUR. https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1372

Editorial Agro Cultivos S.C. (2017, July 26). Principales Tipos de Invernaderos | Revista HortiCultivos. https://www.horticultivos.com/featured/principales-tipos-invernaderos/

El Tiempo. (1994). Un Zipa Hoy. https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-231383#:~:text=Qué diferencia hay entre resguardo, autoridad representativa de dicha comunidad.

Eva - Funcion publica, 1973, LEY 23 DE 1973., disponible en https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9018

Eva - Funcion publica, 1994, LEY 165 DE 1994., disponible en https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=37807

Fajardo, S. V., & Lizcano, P. T. (2015). Estudio exploratorio de mercado para Lippia alba como alternativa de producción sostenible en la cuenca media y baja del Río Las Ceibas, Neiva Colombia. Ingeniería y Región, (13), 125-137, disponible en https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432281.

FAO, & Florián, P. (2020). CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS, MATERIALES Y EQUIPOS DE PRODUCCIÓN. FAO. http://www.fao.org/3/s8630s/s8630s05.htm#bm05.4.5.1

FAO, 2001, Manejo del cultivo, sección 5, factores ambientales, disponible en https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s00.htm#Contents

FAO. (2007). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. http://www.fao.org/3/a1598s/a1598s06.htm

FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. En Informe Sobre Temas Hídricos no. 38. www.fao.org/publications

Felipe, E., & García, M. (2009). UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POST GRADO.

Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en elrendimiento de tres cultivos medianteel uso del Modelo AquaCrop. FONDO FINANCIERO DE PROYECTOS DE DESARROLLO – FONADE E INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO - BID. http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Informe+Final_+Efectos+del+CC+en+el+rendimiento+de+cultivos+agrícolas.pdf/77713cce-eef6-4eb9-9ad6-02985c72b76b

Florez, F., & Aya, J. (2020). ESTADO DE LA COBERTURA ELÉCTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL. Zonas interconectadas del Tolima. Retrieved abril 10, 2021, from https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cpt0l7-ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf

FORECA. (2021). El tiempo en Natagaima (Tolima, Colombia). http://tiempoytemperatura.es/colombia/natagaima.html#por-horas

Fundación Endesa. (2021). ¿Qué es la biomasa? Centrales de energía de la biomasa. https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa

Garcés, M. I., & Caropreces, F. (2010). Morfología, anatomía, ontogenia y composición química de metabolitos secundarios en inflorescencias de Lippia alba (Verbenaceae). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000400037

García, L., Benarroch, W., Clemente, P., Sánchez, F., Juan, J., Noriega, S., & Aguilera Bonet, K. (2010). Uso fotónico de materiales de banda intermedia basados en un semiconductor tipo calcogenuro. https://digital.csic.es/handle/10261/29498

Garzon, 2014. “Análisis territorial para el cultivo de Chenopodium Quinoa”, Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, n. 21 (octubre 2014). En línea: http://www.eumed.net/rev/delos/21/quinua.html

Garzón, L. P. G. (2016). Conocimiento tradicional sobre las plantas medicinales de yarumo (Cecropia sciadophylla), carambolo (Averrhoa carambola) y uña de gato (Uncaria tomentosa) en el resguardo indígena de Macedonia, Amazonas. Revista luna azúl, (43), 386-414, disponible en http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n43/n43a17.pdf

Ginés, I., & Mariscal-Sancho, I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Fertiberia SA de CV España. 9p. disponible en https://www.researchgate.net/profile/Ignacio-Mariscal-Sancho/publication/44113802_Incidencia_de_los_fertilizantes_sobre_el_pH_del_suelo/links/56fd1ec908ae8c2a97c10a49/Incidencia-de-los-fertilizantes-sobre-el-pH-del-suelo.pdf

Glasnovic, J. M. (n.d.). Un modelo para el dimensionamiento óptimo de los sistemas de bombeo de agua de riego fotovoltaicos - ScienceDirect. Retrieved April 16, 2021, from https://www-sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0038092X06002866

Gobernación del Tolima. (2020). Municipio de Natagaima. https://www.tolima.gov.co/tolima/informacion-general/turismo/2024-municipio-de-natagaima?__cf_chl_jschl_tk__=9c012c842c428f1c7071cb8b0be8aad5cb8d992a-1620796132-0-AaLZeB55E3ZmPw527Yk3JHCckeL6F0nfMuyOr6BA7leUE-LVH7gm8FAN8_gvrTeQJttVG2Qj8fPjKWeOhYynEJToG54OoY5XCc17rl3H7MLZNY8T1slwJb2khOjB0Tp1NWMgKqLovQ9qM9xWZckYfoBBLfnLtJxtA0da30oxQOescTiKcsOLiVq7D7cZ0Gt3e8H-kjYHRgjuQiiC0poI45AZL8QZqqsBGShQKsJhDJlyQR4xrZGl2a7QXyXB7HmZQ8KSzl_KK3FBLJYkVeP0rLWPzgZNknWRU6b5EcO8iZ0fWSlpnBvcLE9pUCsqFaWm-Dnk4eVLhvwOWG_vJJ4zQrfKGymSDQm73nZkn1OiNqHRE3w5OOx_6Hv9RNyUgT46quDgHvvnwtETL5gUf4MAQ4r6I9NTCaSDXGuxE6CHRs8VrXiDbrpNIEuSttnJW2oCypptdg-517zQZMozjNIEGrcovmcV0tkzOALlGvGdCZoy

Gómez, F., 2018 Agricultura Vertical - Verticrop. Disponible en: <https://grow.verticrop.com/vertical-farming/>. Clepsydra: arquitectura prefabricada para agricultura vertical urbana. IS-ARQuitecura.com. Disponible en: <https://is-arquitectura.com/arquitectura/torres/clepsydra/>

Grabiele, M., Honfi, A., Grabiele, M., Debat, H. & Daviña, J. (2009). CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y CROMOSÓMICA DE COMMELINA BENGHALENSIS L. (COMMELINACEAE) DE ARGENTINA. Gayana Botánica. 66. 18-27. 10.4067/S0717-66432009000100003.

Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. In Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews (Vol. 4, Issue 2, pp. 145–153). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00026-1

Guijarro, A. A., Torres, L. J. C., Preciado-Maila, D. K., & Manzur, B. N. Z. (2018). Sistema de riego automatizado con Arduino. Sistema, 39(37), 27.

Gürsu, H., 2017. Pet-Tree. Sistema de cultivo vertical. EcoInventos. Disponible en: <https://ecoinventos.com/pet-tree-sistema-de-cultivo-vertical/>

IDEAM, & UPME. (2017). Atlas de viento de Colombia. http://www.andi.com.co/Uploads/VIENTO.compressed.pdf

IDEAM, (2021). Radiación, Atlas Interactivo - Radiación IDEAM. http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

IGAC (2012) sistemas degradados en colombia, disponible en https://www.igac.gov.co/es/contenido/2012-0

Ingfocol Ltda. (2014). HIDROENERGÍA. http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf

INIFAP, (2013), Las Huastecas, C. E. CASA-MALLA, TECNOLOGÍA PARA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL SUR DE TAMAULIPAS.

ITTO. (2021). Ubo, Jobo (Spondias mombin) | ITTO. http://www.tropicaltimber.info/es/specie/ubo-spondias-mombin/

Juárez, P., Bugarín, R., Castro, R., SANCHEZ, A. L., CRUZ, E., JUAREZ ROSETE, C. R & Balois R., (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. CONACYT.

Kasten, R., Landis, D., & Wilkinson, M. (2012). Riego y Fertirriego. 115–125. https://www.ina.gob.ar/legacy/pdf/Libro_VII_jornadas_fertirriego.pdf

Kristoferson, L., Bokalders, V. (1986). Renewable Energy Technologies, Pergamon, Pages 34-42, ISBN9780080340616, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008034061650010X)

La Notte, L., Giordano, L., Calabrò, E., Bedini, R., Colla, G., Puglisi, G., & Reale, A. (2020). Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. In Applied Energy (Vol. 278, p. 115582). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115582

Lafont, J. J., & Portacio, A. A. (2011). Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (almendra) del marañón (Anacardium occidentale L). Información tecnológica, 22(1), 51-58.

Lastra Valdés, H. y Piquet García, R. (1999). Calendula officinalis. Revista Cubana de Farmacia , 33 (3), 188-194.Ley No. 759. (2011). LEY DE MEDICINA TRADICIONAL ANCESTRAL. www.asamblea.gob.ni

López, A. P., López, D. M., Inga, E. Y., & Granda, M. D. (2020). Anamú: mitos y realidades. Boletí¬n Informativo CEI, 7(1), 119–121. Recuperado a partir de https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2215

López-Luque, R., Martínez, J., Reca, J., & Ruiz, R. (2017). Análisis de viabilidad y gestión del riego en invernaderos mediterráneos con energía solar fotovoltaica. Ribagua, 4(2), 74-83.

Luciana Chávez Rodríguez y María Alejandra Ponce de León Jara (2014): “Análisis territorial para el cultivo de Chenopodium Quinoa”, Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, n. 21 (octubre 2014). En línea: http://www.eumed.net/rev/delos/21/quinua.html

Luque, R. & Estrada, J. (2004). Anatomía de Commelinaceae presentes en un cultivo de papas (Solanum tuberosum L.) en Mérida, Venezuela. Acta Botánica Venezuelica. 28. 181-196.

Mariano, L. (2018, 29 de junio). *Tipos de Agricultura ¿Cuáles Son y Cómo se Clasifican?* Comercialización Agropecuario. Blog de Bialar. AgroMarketing Digital. https://www.bialarblog.com/tipos-de-agricultura-cuales-como-clasifican/

Marín, M. C. (2013). Diseño de Invernaderos Instrucciones Técnicas. https://marinponsasociados.com/PDFINDUSTRIA/disenoinvernaderos.pdf

Martínez R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. Revista tecnología en Marcha, 22(2), pág-23. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114

Mendez, E. (2009). “EL CULTIVO DE MARIGOLD (Tagetes erecta L.) EN EL PERÚ: PRESENTE Y FUTURO. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1717/PAG 11-129-TM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metwally, AM, Omar, AA, Ghazy, NM, Harraz, FM y El Sohafy, SM (2011). Monografía de hojas de Psidium guajava L. Revista de farmacognosia, 3 (21), 89-104.

MinAmbiente, 1974, Decreto ley 2811 de 1974., disponible en https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2014/04/decreto-ley-2811-de-1974.pdf

MinEnergia, 2014, Decreto número 2469 del 02 de diciembre del 2014, disponible en https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf

MinEnergia, 2014, Ley No 1715 del 13 de mayo del 2014, disponible en https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf

MinInterior, 2020, Proyecto de Ley C485 de 2020 - S418 de 2021 (Legislatura 2020-2021), disponible en https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2020-12/P.L.485-2020C%20%28CONTRATACION%20CABILDOS%20INDIGENAS%29.pdf

Ministerio de interior (2013) Actas de consegración, disponible en https://www.mininterior.gov.co/mision/subdireccion-de-infraestructura/fonsecon/actas/2013

Ministerio del interior. (2011). Pueblo pijao coyaima-natagaima 1. http://www.google.com.co/search?q=indígenas+pijao&hl=es&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&

Ministerio Interior. (2019). Plan de salvaguarda étnica del pueblo pijao. https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/upload/125_resguardo_tamirco_natagaima.pdf

Minsalud, (2018), LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA ARTICULACIÓN DE LAS MEDICINAS Y LAS TERAPIAS ALTERNATIVAS Y COMPLEMENTARIAS, EN EL MARCO DEL SISTEMA GENERAL DE SEGURIDAD SOCIAL EN SALUD, disponible en https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/TH/lineamientos-mtac-sgsss.pdf

Misereándonos, E., & Astorquizaga, R. (2014, February). Invernaderos: aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_agricultura23_invernadero.pdf

Mogollon y Pérez (2019), LA AGRICULTURA VERTICAL COMO ESTRATEGÍA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN TÉRMINOS DE ABASTECIMIENTO Y CALIDAD DE PRODUCTOS EN EL MUNICIPIO DE GACHETÁ CUNDINAMARCA., 2019) disponible en https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28457/ypquimbayd.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Morfología, anatomía, ontogenia y composición química de metabolitos secundarios en inflorescencias de Lippia alba (Verbenaceae). (n.d.). Retrieved June 4, 2021, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000400037

Muhsen, D. H., Khatib, T., & Nagi, F. (2017). A review of photovoltaic water pumping system designing methods, control strategies and field performance. In Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 68, pp. 70–86). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.129

Mujica, V & Rodríguez-Corella, M. (2010). Formulación de un producto cosmético con propiedades antiarrugas a partir del aceite de semilla de merey (Anacardium Occidentale L). Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 25(2), 119-131.

NREL. (2019). Solar Module Efficiency Table Guide. https://doi.org/10.1002/pip.3228

Ocampo, R. (2012). Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. http://www.manioc.org/gsdl/collect/recherch/import/tramil/manualdecu1.pdf

OMS/OPS. (2014). De la "salud para todos en 2000" a la cobertura universal en salud. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9346:2014-from-health-all-2000-universal-health-coverage&Itemid=135&lang=es

ONIC. (2021). Organización Nacional Indígena de Colombia. https://www1.onic.org.co/

ONU. (2007). DECLARACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. https://www.hchr.org.co/phocadownload/publicaciones/otras/declaracion-indigenas-convenio169.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (2010). Informe: Reunión regional sobre medicina tradicional y plantas medicinales. https://www3.paho.org/spanish/ad/ths/ev/PM-MedicinaTradicional.pdf

Ortega Valle, P. H., & Obando Urbina, O. E. (2006). Utilización de la Resina de Neem (Azadirachta indica) como desparasitante externo en el tratamiento del tórsalo (Dermatobia hominis) en bovinos del Municipio de Muy Muy, Departamento de Matagalpa (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).

OVACEN. (2016). Cómo hacer un domo o cúpula geodésica en el jardín de casa | OVACEN. https://ovacen.com/domo-cupula-geodesica/

Peña, C., 2016. EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD EN ALGUNOS MODELOS PEQUEÑOS DE AGRICULTURA VERTICAL PARA APLICAR EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS-SEDE B - BOGOTÁ COLOMBIA. [en línea] Repositorio.ecci.edu.co. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1935/Informe%20de%20pasant%C3%ADa.pdf?sequence=1>

Pérez G, Sylvia M,Vargas S, Psidium guajava: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology, Journal of Ethnopharmacology, Volume 117, Issue 1, 2008, Pages 1-27, ISSN 0378-8741, https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.025.

Pichardo, J., & Vibrans, H. (2009). Tagetes erecta - ficha informativa. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-erecta/fichas/ficha.htm

Plazas M., (2020). Adquisición de datos para el monitoreo remoto de variables de un cultivo vertical a través de una plataforma loT. Disponible en http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/17203/10/PlazasMaria_2020_MonitoreoRemotoCultivo.pdf

Proyecto, M., Carrera, D. E., & Capua, D. Di. (2011). Volumen I “ESTRUCTURA E INSTALACIONES DE UN INVERNADERO” PFC presentado para optar al título de Ingeniería Técnica Industrial especialidad MECANICA Por Francesc Gassó Busquets y Sergio Solomando Valderrabano Barcelona, 12 de enero de 2011.

Quimbay Diaz, Y. P., & Mogollon Perez, E. A. La agricultura vertical como estrategia para garantizar la seguridad alimentaria en términos de abastecimiento y calidad de productos en el municipio de Gachetá, Cundinamarca.

Radiación IDEAM. (2021). Atlas Interactivo - Radiación IDEAM. http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

Reyna Huamán, C. E. (2015). Sistema automatizado para el monitoreo y control de humedad en un invernadero.

Rodriguez, & Rojas, H. (2020). COMUNIDADES INDÍGENAS PIJAOS EN EL MUNICIPIO DE AUTORES LOZANOS, HEIDY CAROLINA ROJAS UNIVERSIDAD EAN GARANTIA DE LA CALIDAD ENSALUD, SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN, IBAGUÉ, 1–36.

Rodríguez, D. (2017). Caracterización del uso tradicional de plantas medicinales en zona rural del municipio de Natagaima (Tolima). 40. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34320

Rojas, L. (2016). Análisis de la percepción de la comunidad indígena Pijao frente a los efectos del Distrito de Riego "Triángulo del Tolima" en los Municipios de Coyaima y Natagaima [Pontificia universidad Javeriana]. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/22048/RojasAyerbeLauraJulieth2016.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Rua, E., Gonzalez, A., Granados, A., & Ramírez, R. (2019). DISEÑO ESTRUCTURAL DE TRANSPORTE PARA SISTEMA DE BOMBEO PORTÁTIL ACTIVADO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO, 9(2). https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2018.3219

Salazar C., 2021, Inflación se mantendría por encima de la meta del Emisor hasta mediados de 2022, disponible en https://www.larepublica.co/economia/la-inflacion-se-mantendria-por-encima-de-la-meta-del-emisor-hasta-mediados-de-2022-3256691

Sánchez Orozco, M, Bonilla Correa, C y Guzmán Rivera, S. (2004). El Cultivo de Pronto Alivio Lippia alba (Miller.) N.E. Browm ex Britton and Wilson. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8727

Santomera, A. (2017). Invernaderos Túnel-IEP invernaderos. http://www.inverelpilar.com/es/invernaderos/invernaderos-tunel

Sauceda-Acosta, Carlos P., González-Hernández, Víctor A., Sánchez-Soto, Bardo H., Sauceda-Acosta, Raúl H., Ramírez-Tobías, Hugo M., & Quintana-Quiroz, José G... (2017). MACF-IJ, método automatizado para medir color y área foliar mediante imágenes digitales. Agrociencia, 51(4), 409-423, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000400409&lng=es&tlng=es.

Tesicol, (2022), Uso de polisombra; tomado de https://www.tesicol.com.co/publicaciones/blog/4-razones-para-comenzar-a-utilizar-polisombras-para-cultivos#:~:text=Las%20polisombras%20ayudan%20a%20evitar,al%20interior%20de%20la%20cobertura.

Tesfaye, M. Z., Balana, B. B., & Bizimana, J. C. (2021). Assessment of smallholder farmers' demand for and adoption constraints to small-scale irrigation technologies: Evidence from Ethiopia. Agricultural Water Management, 250, 106855. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106855

Twenergy 2019, energía hidraulica, disponible en https://twenergy.com/energia/energia-hidraulica/

Uchegbu, M., Okoli, I., Esonu, B. y Iloeje, M. (2011). La importancia del cultivo del nim (Azadirachta indica A. Juss) en la agricultura, la industria, la medicina y el medio ambiente: una revisión. Revista de investigación de plantas medicinales, 5 (3), 230-245.

UNMSM, jardín botánico del Perú (2015), Cordyline fruticosa "cordeline hoja ancha", https://jardinbotanicoffybb.jimdofree.com/clasificaci%C3%B3n-por-nombre-cient%C3%ADfico/cordyline-fruticosa/

Um.es. 2010.Suelo como interface; composicion, tesxtura y estructura [online] Disponible en: <https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf>

Vargas Mora, M. F. (2020). La horticultura vertical como fuente para producir alimentos en zonas periurbanas de Babahoyo-Los Ríos (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).

Yahya, A., & Adel, D. (2018). Amorphous Silicon - an overview | ScienceDirect Topics. https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/amorphous-silicon

13 ANEXOS

Hipervínculos

- Matrices de decisión para el sistema de riego, sistema de monitoreo, sistema de energías renovables y de estructura externa (hipervínculo).
- Tabla de identificación de texturas (hipervínculo).
- Imágenes de evidencia de la realización del proyecto planteado (hipervínculo).
- Encuestas realizadas en la comunidad indígena Balocá (hipervínculo).
- Manual de uso y mantenimiento (hipervínculo).
- Carta aval entregada por el gobernador de la comunidad indígena Balocá (hipervínculo).
- Protocolo de pruebas (hipervínculo) (hipervínculo).
- Protocolo RAEE (hipervínculo).
- Video del proyecto: disponible en YouTube (hipervínculo).
- Video de noticias que hablan sobre el proyecto: disponible en YouTube (hipervínculo).