

**CULTIVO VERTICAL ELABORADO CON MATERIALES COMPUESTOS Y
PROCESOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL.**

**LAURA PATRICIA JIMÉNEZ SILVA
XIMENA ALEJANDRA RIOS MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2017

**GRANJA VERTICAL ELABORADO CON MATERIALES COMPUESTOS Y
PROCESOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL**

**LAURA PATRICIA JIMÉNEZ SILVA
XIMENA ALEJANDRA RIOS MUÑOZ**

Trabajo para optar por el título de Diseñador Industrial

Director:

JAVIER MAURICIO MARTÍNEZ GÓMEZ

Doctor en Sistema de Producción y Diseño Industrial

Codirector:

GERMÁN ADOLFO DÍAZ RAMIREZ

Doctor en Ingeniería de Materiales

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2017

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2. JUSTIFICACIÓN.....	26
3. PREGUNTA DE DISEÑO	28
4. OBJETIVOS.....	29
4.1. OBJETIVO GENERAL	29
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
5. MARCO TEORICO	30
5.1. OREGANO DE MONTE (LIPPIA ORIGANOIDES).....	30
5.1.1. Requerimientos de la planta.	31
5.2. ACEITES ESENCIALES	32
5.3. AGRICULTURA VERTICAL.....	32
5.4. SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO	34
5.5. DISEÑO SOSTENIBLE.....	35
5.5.1. Residuos sólidos urbanos.....	36
5.6. MATERIALES COMPUESTOS.....	37
5.6.1. Matriz.	38
5.6.2. Refuerzo.	39
5.7. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES COMPUESTOS.....	44
ETAPA 1	49
6. DEFINICIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	49

6.1. MATRIZ POLIMÉRICA DE ORIGEN RESIDUAL.....	49
6.1.1. Trabajo de campo.	51
6.2. FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO.....	55
6.2.1. Fibra de fique.	56
6.2.2. Tratamiento superficial de las fibras naturales.....	57
6.3. PROPORCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	58
6.4. CONCLUSIONES	59
ETAPA 2	60
7. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MATERIAL COMPUESTO	60
7.1. MATERIAS PRIMAS.....	60
7.1.1. Matrices.	60
7.1.2. Reforzante.	64
7.2. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL	65
7.2.1. Acondicionamiento de materias primas.	66
7.2.2. Molde.	69
7.2.3. Calculo de la cantidad del material.	69
7.2.4. Proceso de elaboración de las probetas.	70
7.2.5. Prueba de temperatura de los polímeros.	72
7.2.6. Pruebas de compatibilidad.....	74
7.2.7. Análisis de resultados.	77
7.2.8. Elaboración de probetas finales.....	77
7.3. ENSAYOS MECÁNICOS.....	80
7.3.1. Ensayo de Flexión.	80
7.3.2. Ensayo de Tensión.	83

7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
7.4.1. Resultados ensayo de flexión.	87
7.4.2. Resultados de ensayo tensión.	90
7.5. CONCLUSIONES	94
8. FASE DE DISEÑO	96
8.1. MERCADO OBJETIVO	96
8.1.1. Demografía de mercado.	96
8.2. NECESIDADES DEL USUARIO	100
8.3. ALTERNATIVAS Y COMPETENCIA	102
8.3.1. Alternativa inicial.	102
8.3.2. Estado actual del producto.....	103
8.3.3. Conclusiones.	104
8.4. ESTADO DEL ARTE.....	106
8.4.1. Stacking planters.	106
8.4.2. Verticrop.....	108
8.4.3. Green Tower System.	109
8.4.4. Hydroponic Tube de NaturalHydro.....	110
8.4.5. Tower Garden.	111
8.4.6. Conclusiones.	112
8.5. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	113
8.5.1. Perspectiva del Producto	113
8.5.2. Capacidades.....	113
8.5.3. Características del producto.	114
8.6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	116

8.6.1. Alternativas	117
8.6.2. Selección del concepto.	123
8.6.3. Focus group.	125
8.6.4. Desarrollo de alternativas.	128
8.7. DISEÑO DE DETALLE.....	137
8.7.1. Principio de diseño.....	137
8.7.2. Análisis del diseño	141
8.7.3. Rediseño del módulo	141
8.8. DISEÑO DEL PRODUCTO	143
8.8.1. Torres del cultivo.....	143
8.8.2. Sistema de riego.	147
8.8.3. Funcionamiento.	147
8.8.4. Secuencia de uso	148
8.9. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	152
8.9.1. Función	152
8.9.2. Uso	162
8.9.3. Desempeño.....	163
8.10. PRUEBA DE CONCEPTO	164
8.10.1. Test de usabilidad.....	164
8.11. Evaluación de posturas de trabajo por el método OWAS	170
8.11.1. Procedimiento.	170
8.11.2. Registro de datos.....	173
8.11.3. Análisis de resultados.	179
8.12. DISEÑO PARA MANUFACTURA	180

8.12.1. Materia prima	180
8.13. IMAGEN CORPORATIVA.....	181
9. CONCLUSIONES	182
9.1. HALLAZGOS	182
9.2. LIMITACIONES.....	184
10. RECOMENDACIONES.....	186
BIBLIOGRAFÍA.....	187
ANEXOS	194

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Requerimientos de la planta	31
Figura 2: Clasificación sistemas de riego tecnificados.....	35
Figura 3: Clasificación de refuerzos según su forma.	40
Figura 4: Clasificación del refuerzo en fibras	41
Figura 5: Clasificación de materiales Coopreser – envases plásticos.	52
Figura 6: Clasificación de materiales Coopreser – envases PET por color.	52
Figura 7: Clasificación de materiales Coopreser – película.	53
Figura 8: Etapa de separación, lavado y empaque.....	54
Figura 9: Línea de sonajeros Faplasher.	55
Figura 10: Hojuelas de PET transparente.....	66
Figura 11: hojuelas de PEAD.....	66
Figura 12: Hojuelas de PEBD.	67
Figura 13: Pellets de PP	67
Figura 14: Fibra de fique cepillada.....	68
Figura 15: Fique bajo tratamiento de NaOH	68
Figura 16: Fibra corta de fique.....	69
Figura 17: Molde de aluminio.....	69
Figura 18: Horno de Cerámicos.....	72
Figura 19: PET a 350°C.....	73
Figura 20: PET a 300°C.....	73
Figura 21: PEAD a 220°C.....	73

Figura 22: PEBD a 200°C.	73
Figura 23: PP a 200°C.	74
Figura 24: PET + 10% Fique a 300°C.....	76
Figura 25: PEAD + 10% Fique a 220°C.....	76
Figura 26: PEBD + 5% Fique a 200°C.....	76
Figura 27: PEBD + 10% Fique a 200°C.....	76
Figura 28: PEBD + 15% Fique a 200°C.....	76
Figura 29: PP + 5% Fique a 190°C.....	76
Figura 30: PP + 10% Fique a 190°C.....	77
Figura 31: Corte de probetas finales.....	78
Figura 32: Probetas finales.....	78
Figura 33: Posición de la probeta en la máquina.....	81
Figura 34: Dimensiones de la probeta final para ensayo a tensión.....	84
Figura 35: Diagrama de ubicación del espécimen de prueba en la máquina.....	86
Figura 36: Grafica de esfuerzo a flexión.....	88
Figura 37: Grafica Fuerza Vs desplazamiento de una probeta.....	89
Figura 38: Grafica de esfuerzos a tensión.....	91
Figura 39: Grafica de porcentaje de elongación.....	91
Figura 40: Proceso de extrusión.....	95
Figura 41: Población campesina.....	96
Figura 42: Herramientas de siembra.....	97
Figura 43: Usuario del cultivo.....	100
Figura 44: Miembro de la parte interesada- CENIVAM.....	100

Figura 45: Mecanismo para cargar las masetas.	103
Figura 46: Estudio de tensiones.....	104
Figura 47: Estado actual de la granja vertical.	105
Figura 48: Ganja vertical Stacking planters	106
Figura 49: Sistema de macetas apilables	107
Figura 50: Sistema de conservación de humedad	107
Figura 51: Invernadero Verticrop	108
Figura 52: Sistema de granja vertical Green Tower	109
Figura 53: Cultivo hidropónico NaturalHydro	110
Figura 54: Tower Garden en invernadero	111
Figura 55: Sistema de riego aeropónico Tower Garden	112
Figura 56: Mapa de sistemas y subsistemas	113
Figura 57: Requerimientos principales.....	116
Figura 58: Conceptos seleccionados (puesto 1 y 2)	124
Figura 59: Conceptos para revisión (puesto 3 y 4)	124
Figura 60: Alternativas 1, 2 y 3 respectivamente.	125
Figura 61: Torre del sistema de cultivo vertical.....	128
Figura 62: Ensamble de la torre.....	129
Figura 63: Surcos del sistema de cultivo.	129
Figura 64: Distancia entre torres y surcos	130
Figura 65: Sistema de cultivo con disposición horizontal.....	131
Figura 66: Alternativas de contenedor	138
Figura 67: Análisis estático de contenedores	139

Figura 68: Configuración de la torre.....	139
Figura 69: Ensamble entre contenedores	140
Figura 70: Diseño de torre de cultivo	140
Figura 71: Principio de diseño del módulo contenedor	141
Figura 72: Experimentación de la forma	142
Figura 73: Cultivo vertical PARTERRE	143
Figura 74: Elementos de la torre.....	144
Figura 75: Partes del eje principal.....	144
Figura 76: Planos del soporte estructural	145
Figura 77: Tubos separadores.....	145
Figura 78: Ensamble separador-base.....	146
Figura 79: Planos de la base	146
Figura 80: Elementos del sistema de riego.....	147
Figura 81: Separación entre surcos y torres	148
Figura 82: Instalación del eje principal de las torres	149
Figura 83: Montaje de las torres	150
Figura 84: Sistema de riego del cultivo vertical.....	151
Figura 85: Cultivo en funcionamiento.....	152
Figura 86: Número de plantas en el cultivo vertical vs cultivo tradicional	153
Figura 87: Análisis estático tensión nodal.....	155
Figura 88: Desplazamiento estático.....	156
Figura 89: Deformación unitaria estática	156
Figura 90: Espacio de crecimiento de la planta	157

Figura 91: Datos de punto geográfico y fecha del año.....	158
Figura 92: Cálculo realizado por la plataforma Sunearttools.com.....	158
Figura 93: Proyección de la sombra 9 am	159
Figura 94: Proyección de la sombra en horas de la mañana.....	159
Figura 95: Proyección de la sombra a las 4 pm	160
Figura 96: Proyección de la sombra en horas de la tarde.....	160
Figura 97: Red de goteo del cultivo	161
Figura 98: Nomenclatura de instalación.....	162
Figura 99: Ejecución de la prueba	167
Figura 100: Rediseño de iconografía	169
Figura 101: Posturas de espalda	170
Figura 102: Postura de brazos.....	171
Figura 103: Postura de piernas.....	171
Figura 104: Tipos de cargas	171
Figura 105: Posturas fase 1 de la secuencia de uso del producto.....	174
Figura 106: Posturas fase 2 de la secuencia de uso del producto.....	175
Figura 107: Tarea 14 de instalación del sistema de riego.....	176
Figura 108: Posturas fase 4 de la secuencia de uso del producto.....	178
Figura 109: Parterre.....	181

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las fibras según su origen	39
Tabla 2: Tipos de fibras vegetales y su ubicación dentro de la planta	42
Tabla 3: Cantidad de residuos recuperados por tipo de material.....	50
Tabla 4: Cantidad y precio del plástico recuperado en Coopreser.....	53
Tabla 5: Propiedades del PET	61
Tabla 6: Propiedades del PEAD moldeado por inyección.....	62
Tabla 7: Propiedades del PEBD	63
Tabla 8: Propiedades físicas y mecánicas del Polipropileno	64
Tabla 9: Características de la fibra del fique	64
Tabla 10: Variables independientes de la experimentación.....	65
Tabla 11: Dimensiones necesarias para la realización de las probetas.....	70
Tabla 12: Densidad de los materiales.....	70
Tabla 13: Materiales e instrumentos utilizados.	71
Tabla 14: Temperatura teórica y experimental de fusión.	72
Tabla 15: Prueba de temperatura	73
Tabla 16: Prueba compatibilidad Matriz vs Refuerzo.....	75
Tabla 17: Parámetros utilizados en la elaboración de las probetas finales.....	79
Tabla 18: Caracterización físico - mecánica	80
Tabla 19: Dimensiones de las probetas para ensayo a flexión.....	84
Tabla 20: Designación para la velocidad de las pruebas.....	85

Tabla 21: Resultados ensayo de Flexión	88
Tabla 22 Variación del esfuerzo a flexión respecto a las matrices.....	90
Tabla 23: Resultados de ensayo a Tensión.....	90
Tabla 24 Variación de las propiedades mecánicas a tensión respecto a las matrices.	92
Tabla 25 Comparación de Propiedades mecánicas de materiales compuestos....	93
Tabla 26: CENIVAM como Parte Interesada	98
Tabla 27: Población campesina como usuario objetivo	99
Tabla 28: Necesidades del cliente	101
Tabla 29: Capacidades del producto	114
Tabla 30: Requerimientos de función	114
Tabla 31: Requerimientos de uso	115
Tabla 32: Requerimientos de desempeño	115
Tabla 33: Requerimientos de soporte.....	116
Tabla 34: Características del cultivo tradicional de lippia organoides	117
Tabla 35: Especificaciones Alternativa 1	117
Tabla 36: Especificaciones Alternativa 2	118
Tabla 37: Especificaciones Alternativa 3	119
Tabla 38: Especificaciones Alternativa 4	120
Tabla 39: Especificaciones Alternativa 5	121
Tabla 40: Especificaciones Alternativa 6	122
Tabla 41: Matriz de selección de concepto.....	123
Tabla 42: Resultados <i>Focus Group</i>	127
Tabla 43: Cálculo de proyección de sombra.....	130

Tabla 44: Cargas aplicadas al modelo.....	154
Tabla 45: Propiedades del material de las piezas del producto.....	154
Tabla 46: Observaciones.....	168
Tabla 47: Actividades Fase 1: Preparación del terreno e instalación de estructura principal.....	173
Tabla 48: Actividades Fase 2: Instalación de las torres.....	174
Tabla 49: Actividades Fase 3: Instalación del sistema de riego.....	175
Tabla 50: Actividades Fase 4 Cultivo y mantenimiento.....	177
Tabla 51: Frecuencia de aparición de la postura en cada parte del cuerpo.....	178
Tabla 52: Observaciones de las tareas más críticas de la secuencia de uso.....	179
Tabla 53: Costos del material.....	180

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Análisis estático	194
ANEXO B. Instrucciones de uso	209
ANEXO C. Informe de sustentabilidad.....	212
ANEXO D. Manual de instrucciones	215

RESUMEN

TÍTULO: CULTIVO VERTICAL ELABORADO CON MATERIALES COMPUESTOS Y PROCESOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL¹

AUTORES: LAURA PATRICIA JIMÉNEZ SILVA

XIMENA ALEJANDRA RIOS MUÑOZ²

PALABRAS CLAVE: *Lippia origanoides*, aceites esenciales, Santander, materiales compuestos, impacto ambiental.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo presenta el desarrollo de un cultivo vertical para el crecimiento de la *lippia origanoides* (orégano de monte) dirigido a la producción de aceites esenciales como una oportunidad de sustento rentable que impulsa el sector agrícola de diferentes municipios de Santander. Además, se buscó proponer un material compuesto constituido de matriz polimérica reconstituida reforzado con fibra natural de bajo impacto ambiental como agente diferenciador del producto.

En la primera parte del documento se presentan las dos etapas que se utilizaron para el desarrollo del material compuesto donde se seleccionaron las materias primas y se elaboró el protocolo experimental para la fabricación del mismo. Se realizaron pruebas mecánicas de tensión y flexión para conocer su resistencia a las cargas y su respectivo comportamiento.

La segunda parte del documento se conforma por la etapa de diseño donde se genera el concepto de diseño y se evalúa la eficiencia de la propuesta de acuerdo a su función, uso y desempeño. Con el diseño desarrollado se logró maximizar el espacio de cultivo cuatro veces, facilitándole la mayor cantidad de luz a la planta, proporcionándole el espacio suficiente y cantidad de agua adecuada para su crecimiento. Por otro lado, se propone fabricar la pieza principal del producto con el material compuesto a base de matriz polimérica de polipropileno reforzado con fibras naturales a 5% de carga en peso, por el desempeño mecánico que se espera de esta pieza.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez, Codirector: German Adolfo Díaz Ramírez

ABSTRACT

TITLE: VERTICAL FARM MADE WITH COMPOSITE MATERIALS AND LOW ENVIRONMENTAL IMPACT PROCESSES³

AUTHOR: LAURA PATRICIA JIMÉNEZ SILVA

XIMENA ALEJANDRA RIOS MUÑOZ⁴

KEY WORDS: *Lippia origanoides*, essential oils, Santander, composite materials, environmental impact.

DESCRIPTION

This research work presents the development of a vertical farm for the grown of *lippia origanoides* (Mountain oregano) for the production of essential oils, as a profitable livelihood opportunity that drives the agricultural sector of different municipalities of Santander. In addition, the purpose to develop a composite material of reconstituted polymer matrix reinforced with natural fibers with low environmental impact, as a differentiating agent of the product.

The first part of the document presents two stages used for the development of the composite material where the raw materials were selected and the experimental protocol were developed for the material manufacture. Mechanical tests of tension and flexion performed helped to find its resistance to the loads and their respective behavior.

The second part of the document is about the design stage where the concept design was generated and the efficiency was evaluated according to its function, use and performance. With the design done, it was possible to maximize the crop space up to four times, enabling the greater amount of light to the plant, providing sufficient space and adequate amount of water for its growth. On the other hand, the main piece of the product was propose to be manufactured with the composite material based on polypropylene polymer matrix reinforced with natural fibers at 5% in weight, due to the expected mechanical performance of this piece.

³ Degree work

⁴ Faculty of Physicomechanical Engineeering. School of Industrial Design. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez, Codirector: German Adolfo Díaz Ramírez

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general la situación que se presenta actualmente en el sector agrario de Santander, donde los campesinos eran desplazados a las cabeceras municipales por el conflicto armado y la disputa de las tierras para cultivos ilícitos.

En esta población desatendida y marginada en sus derechos se evidencia la problemática severa en sus altos índices de pobreza y desempleo, por lo tanto, los campesinos que quieren seguir luchando cada día por una vida de trabajo digno no cuentan con el dinero y el área de tierra necesarios para implementar cultivos productivos que generen crecimiento económico y social.

En la actualidad la innovación tecnológica está ligada al desarrollo económico en cualquier sector y compone un factor definitivo para lograr productividad y competitividad; por lo tanto, es necesario tener en cuenta la innovación en el sector agrícola con el fin de promover el desarrollo económico del sector y las personas involucradas.

El cultivo de plantas aromáticas para la producción de aceites esenciales es una alternativa que genera nuevas fuentes de trabajo e ingresos para los agricultores obteniendo productos con alto valor agregado y contribuyendo a la utilización más razonable de la tierra. Para la producción de aceites esenciales es necesario el cultivo a gran escala de materia vegetal, por lo tanto, es importante la implementación de granjas verticales que reemplacen el cultivo tradicional y así lograr un mayor rendimiento del espacio de trabajo por metro cuadrado.

Para encaminar la propuesta del cultivo hacia la innovación, se tendrá en cuenta la implementación de nuevos materiales buscando un producto más sostenible que unifique funcionalidad, durabilidad y calidad ambiental. La utilización de materiales compuestos ha permitido un importante desarrollo de productos con propiedades mejoradas, logrando ventajas en materia de peso, resistencia mecánica y bajo

costo. Su aplicación se evidencia desde hace varias décadas. El desarrollo de materiales de ingeniería se ha centrado principalmente en la modificación de materiales existentes, la formulación de materiales compuestos y la utilización de nanotecnologías con el fin de obtener nuevos materiales con propiedades físicas, químicas y mecánicas superiores a las de los materiales tradicionales. Dada la relativa facilidad de procesamiento, el bajo costo y el elevado potencial industrial, los materiales compuestos que han tenido mayor impulso son aquellos en los que se utiliza un material polimérico en calidad de matriz y fibras en calidad de refuerzo.

(1)

Este proyecto va dirigido al desarrollo de una nueva alternativa de diseño de granjas verticales para la producción de aceites esenciales a partir de orégano de monte en las cabeceras municipales de Santander; se plantea la utilización de nuevos materiales compuestos obtenidos de polímeros reconstituidos reforzados con fibras naturales; además, seleccionando el proceso más eficiente de producción que aproveche totalmente las materias primas seleccionadas y que tenga el menor impacto ambiental.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector rural del país siempre ha sido marginado y vulnerado en cuanto a derechos políticos, civiles, económicos, sociales y culturales. Algunos factores que influyen negativamente en su funcionamiento y desarrollo, frenan la buena productividad y, en consecuencia, no se benefician como deberían todas las familias campesinas que sobreviven gracias a este sector.

Según Acción Social y Unión Europea (2011) Existen factores tales como la violencia promovida por los distintos actores que ha forzado el desplazamiento de más de 3 millones de personas que subsistían de labores agrícolas, las condiciones de pobreza en las que se encuentra el 65% de los hogares rurales, el uso poco eficiente del recurso tierra bajo el modelo tecnológico dominante y el deterioro de la capacidad de la naturaleza para responder a las demandas productivas y de bienes y servicios; los cuales, sumados a la destrucción de recursos naturales, han afectado profundamente el nivel de ingresos en las zonas rurales durante las dos últimas décadas y forzado a los campesinos a implementar cultivos ilícitos para poder subsistir.

A mediados de la década de los ochenta se da una amplia presencia paramilitar que se extiende por la gran mayoría del departamento, esto desató un conflicto para dar control a su accionar por parte de las fuerzas militares, generando desplazamiento de campesinos en la región y produciendo el establecimiento de un territorio vulnerable social y económicamente (2)

De los 87 municipios que conforman Santander, 26 se han visto afectados por cultivos de coca en algún momento de la serie histórica 2001-2013; no obstante la dinámica descrita en líneas anteriores, muestra que el cultivo ilícito en el departamento no tiene una tradición histórica por lo cual existen municipios que

exhiben registro de afectación en pocos años, como son los municipios de Chima, Confines, Guapotá, Guavatá, Palmas del Socorro y Socorro, que tan solo tuvieron reporte un año y son anteriores a 2005; más recientes se localizan municipios como Contratación y Sabana de Torres, y su único reporte fue entre 2007 y 2009 (2)

Considerando que la innovación y la tecnológica de la mano del diseño industrial son factores fundamentales para lograr competitividad, rentabilidad y productividad, es preciso contribuir con este proyecto al mejoramiento de la calidad de vida y la generación de ingresos de pequeños productores ubicados en las cabeceras municipales de la región que es donde mayor concentración de población desplazada se presenta y, por lo tanto, existe la necesidad de maximizar el espacio con el que se cuenta para cultivar, teniendo presente los costos de construcción y de mantenimiento que esto trae, tanto para la entidad que gestiona el proyecto como para la comunidad, y el ciclo de vida del sistema para lograr un producto más sostenible que unifique funcionalidad, durabilidad y calidad ambiental.

2. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de plantas aromáticas para la producción de aceites esenciales es una alternativa económica rentable que podría llegar a reemplazar los cultivos de coca. La industria de los aceites esenciales no solo está relacionada con el sector productivo de transformación y comercialización, sino también con el desarrollo agrícola en el establecimiento de grandes cultivos como materia prima de dicho producto.

A pesar de las condiciones medioambientales favorables con las que contamos, Colombia no se encuentra considerada como país productor de aceites esenciales, en su lugar, es importador neto para satisfacer la industria alimenticia, farmacéutica y de sabores y fragancias; desaprovechando así un sector que genera productos de gran valor comercial y muchas oportunidades de trabajo para el campo.

Es importante tener en cuenta que para la producción de 10Kg de aceite esencial²², es necesario el procesamiento de 1000Kg de masa vegetal (3), lo cual requiere de grandes cultivos. Una manera de optimizar espacio es la implementación de granjas verticales, de esta forma se impulsaría de igual manera territorios urbanos que busquen un desarrollo sostenible, encontrando en la vegetación, un elemento clave para mitigar los problemas de contaminación, propiciar la biodiversidad y generar un ecosistema mejor equilibrado (4)

Hoy en día se ha generado un interés por el avance hacia un diseño responsable y la reutilización de materias primas; para esto se ha hecho necesario, desde la perspectiva de diseño, la implementación de nuevos materiales, la optimización de los procesos de producción y el manejo adecuado de su disposición final, además del intento por minimizar el impacto ambiental. La finalidad de este proyecto es desarrollar un sistema de granjas verticales para aplicarlo a cultivos de plantas esenciales con el fin de conseguir piezas modulares que generen menor espacio ,

facilitando su transporte, instalación, mantenimiento y reparación, utilizando nuevos materiales compuestos obtenidos de polímeros reconstituidos reforzados con fibras naturales; además, seleccionando el proceso más eficiente de producción que aproveche totalmente las materias primas seleccionadas, que permita desarrollar alternativas de diseño con pocas restricciones en la parte formal y que tenga un impacto ambiental menor para así obtener un producto más sostenible que consolide funcionalidad, durabilidad, estética, mejora en cuanto a la eficiencia energética y calidad ambiental; por lo tanto ¿De qué manera se podría maximizar el espacio de cultivo de orégano en cabeceras municipales desde la innovación y responsabilidad social y ambiental del diseño industrial?.

3. PREGUNTA DE DISEÑO

¿De qué manera se podría maximizar el espacio de cultivo de orégano en cabeceras municipales desde la innovación y responsabilidad social y ambiental del diseño industrial?

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de cultivo eficiente a partir de un material compuesto, dirigido a habitantes de cabeceras municipales, que permita la viabilidad de un proyecto de cosecha de *lippia organoides* en Santander.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un material compuesto de bajo impacto ambiental a partir de la selección de un polímero reconstituido y fibras naturales como refuerzo.
- Caracterizar física y mecánicamente el material compuesto atendiendo a los requerimientos del producto.
- Diseñar un sistema de cultivo vertical a partir de la aplicación del material compuesto obtenido.
- Evaluar la eficiencia del cultivo vertical de acuerdo a su función, uso y desempeño.

5. MARCO TEORICO

5.1. OREGANO DE MONTE (LIPPIA ORIGANOIDES)

El nombre "orégano" comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas que presentan un olor característico a "especioso". Es un arbusto aromático que es ampliamente utilizado en el área de la culinaria y como planta medicinal para el tratamiento de diferentes dolencias corporales.

La especie *lippia origanoides* suele encontrarse en Colombia en los departamentos de Guajira, Magdalena, Cauca (Alto Patía), Cundinamarca, Norte de Santander y Santander. En este último se encuentra a altitudes entre 500-800 m.s.n.m formando asociaciones vegetales con otras especies características de la región (5)

Algunas propiedades de los extractos del orégano han sido estudiadas debido al creciente interés por sustituir los aditivos sintéticos en los alimentos. El orégano tiene una buena capacidad antioxidante y antimicrobiana contra microorganismos patógenos como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, entre otros. Estas características son muy importantes para la industria alimentaria ya que pueden favorecer la inocuidad y estabilidad de los alimentos como también protegerlos contra alteraciones lipídicas.

La composición y la cantidad de los metabolitos secundarios de estas plantas dependen de factores climáticos, la altitud, la época de cosecha, y su estado de crecimiento. Por lo anterior el estudio de dichos factores y su influencia en su cultivo es importante para su mejor aprovechamiento y explotación (6)

5.1.1. Requerimientos de la planta. La cosecha para la extracción de aceite esencial de la planta *lippia organoides* se realiza cada tres meses cuando ha alcanzado la madurez con una altura de 100 cm aproximadamente en cultivo tradicional, para dicho cultivo se requiere la mayor cantidad de luz solar diaria posible (mínimo 6 horas) y riego continuo en la primera etapa de crecimiento de la planta. Las plantas son cultivadas a mínimo 60 cm de distancia entre ellas con surcos de 100 cm entre ellos, según esto, cada planta requiere de 10 Kg de tierra para su crecimiento.

Figura 1. Requerimientos de la planta en cultivo tradicional



5.2. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se producen en cantidades considerables en las plantas aromáticas las cuales, al ser sometidas a vapor de agua, liberan una mezcla odorífera líquida con gran variedad de sustancias volátiles que sirven como materias primas o insumos en grandes industrias como lo son:

- Industria de las fragancias
- Industria de aromas y sabores
- Industria de productos medicamentosos
- Industria química y de productos derivados.

Por esto, el cultivo de plantas aromáticas y la obtención de aceites esenciales son actividades agrícolas que permiten varios beneficios como:

- ✓ Obtención de productos de bio-comercio con alto valor agregado, con base en la unión de la tecnología (procesos de destilación, refinación) y la actividad netamente agrícola (propagación, cultivo, mantenimiento y cosecha de las plantas aromáticas.
- ✓ Contribución al desarrollo de la cadena productiva y de valor de plantas medicinales, aromáticas y condimentarías y productos derivados en Colombia, por ejemplo, ingredientes naturales para productos cosméticos y de aseo personal.
- ✓ Generación de nuevas fuentes de trabajo y de ingresos para agricultores.

5.3. AGRICULTURA VERTICAL

Una granja se conforma a través del empleo de un conjunto de técnicas para la producción de plantas. Esta se compone a través de elementos como semillero,

cultivos, abonos y recolección de agua lluvia; Se estima que las granjas horizontales que son las que se usan en la agricultura tradicional no dan abasto para alimentar en el futuro a la población mundial, sus prácticas producen la pérdida masiva de la tierra vegetal y los cultivos son vulnerables a una amplia gama de plagas y agentes patógenos microbianos.

Una estrategia alternativa para tratar con estos problemas surgió inicialmente en 1999 gracias al biólogo y profesor de ciencias medioambientales y microbiología Dickson Despommier de la Universidad de Columbia con el concepto de *agricultura vertical* donde se cultiva gran cantidad de alimentos en edificios llamados *skyfarming*; su diseño inicial se basaba en un edificio de 30 pisos que maximizara el rendimiento agrícola todo el año, utilizando iluminación artificial y técnicas hidropónicas y aeropónicas de cultivo para llegar a alimentar a decenas de miles de personas evitando el uso de transporte y emisiones de carbón. Actualmente sigue desarrollándose el concepto y se están llevando las granjas verticales a la práctica en países como Estados Unidos y Corea.

El diseño de Granjas verticales consiste en adaptar el cultivo de plantas a estructuras verticales de varios niveles aprovechando y maximizando el espacio que se tiene disponible para el cultivo. En dichos cultivos se suele implementar técnicas alternativas de cultivo como la hidroponía y aeroponía e incluso la cría de peces con el fin de unificar la naturaleza, la ecología y el medio ambiente en un único sistema.

Las prácticas de la agricultura vertical a gran escala en centros urbanos podrían brindar los siguientes beneficios:

Eficiencia

- 1 hectárea de granja vertical equivale aproximadamente a 4 o 6 hectáreas de agricultura tradicional dependiendo de lo que se cosecha y la altura de este.
- Reduce significativamente el uso de combustibles fósiles; tanto en el uso de maquinaria y transporte de materias primas.

Calidad en los productos

- Todas las plantas se cultivan orgánicamente sin herbicidas, pesticidas o fertilizantes.

Amigable con el medio ambiente

- Devuelve tierras de cultivo a la naturaleza con la reparación gradual de ecosistemas dañados restaurando su biodiversidad, funciones y servicios.
- Reduce la huella de carbono y la contaminación por ahorro de combustible.

Social

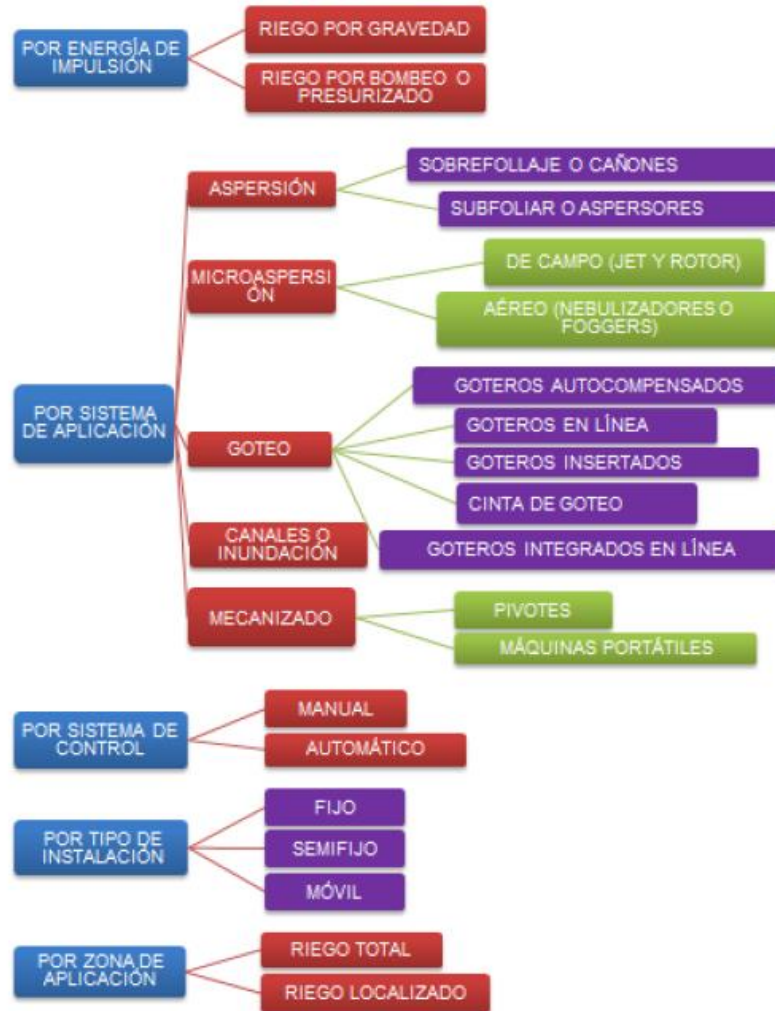
- Brinda oportunidades de empleo y reinserción social a la comunidad.

5.4. SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

El sistema de riego tecnificado consta de elementos que permiten una irrigación controlada, eficiente y localizada. Esta aplicación de agua se hace mediante una red de tuberías con emisores o goteros que, tras un diseño técnico, entregan un volumen de agua específico y en el tiempo requerido según las necesidades del cultivo y características del suelo.

“La tecnificación busca en sí, la optimización del diseño hidráulico, ahorro en energía y dinero, así como la aplicación uniforme de agua en el suelo para mejorar la producción de los cultivos.” (7)

Figura 2. Clasificación sistemas de riego tecnificados.



Fuente: (7)

5.5. DISEÑO SOSTENIBLE

Durante el ciclo de vida del producto se produce un impacto ambiental en cualquiera de sus etapas, es decir, desde la extracción de materias primas, su procesamiento, suministro y distribución, así como la energía para su producción y uso y finalmente su eliminación. La creciente preocupación global sobre problemas

medioambientales y problemas socio-económicos, han implementado enfoques de sostenibilidad de parte de la industria.

Como primer paso, es importante remitirse a la definición del término Desarrollo Sostenible, que tiene origen los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. Allí se puede leer la siguiente definición: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”. (ONU, 1987)

El diseño de productos sostenibles, es una manera reconocida a nivel global de trabajar para mejorar la eficiencia, la calidad del producto y las oportunidades del mercado mientras que al mismo tiempo se mejora el rendimiento ambiental. Aunque cada día existe una mayor conciencia ambiental en los diferentes sectores de la sociedad, el camino hacia el desarrollo de productos sostenibles aún es largo. En definitiva, todo el cuidado que se tenga acerca de los criterios de sostenibilidad y reducción de impactos ambientales, se inician desde la concepción del producto y le dan valor agregado, como su biodegradabilidad, deben ser de origen local, tener bajo consumo energético y fabricado en materiales reciclables.

5.5.1. Residuos sólidos urbanos. Los residuos sólidos urbanos son los que se generan en las casas como resultado de las actividades domésticas presentes en productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques. De igual forma se encuentran presentes en cualquier actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública.

Existe una gran preocupación por la disposición final de residuos de materiales poliméricos por el impacto ambiental que implican cuando son eliminados en botaderos a cielo abierto, siendo una práctica que predomina en la mayoría de los municipios de Colombia.

Según la Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos del 2004, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, “esta práctica se da por la

falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos, falta de coordinación interinstitucional del tema; falta de recursos financieros por parte de los municipios...y un desconocimiento a nivel municipal de la existencia de tecnologías alternas para el manejo de los residuos sólidos.”

El aspecto ambiental y el reciclaje de materiales son factores de alta importancia actual ya que todo proceso de producción y todo producto tienen mayor aceptación cuando el impacto ambiental es mínimo. Por lo tanto, será una necesidad implementar en los próximos años un plan de recuperación de materiales en nuestro país para lograr un modo de vida sustentable, donde ya no se considere a estos materiales como basura, sino como recursos recuperables susceptibles de ser reincorporados en el ciclo productivo y así lograr aminorar el impacto ambiental.

Para el proceso de reciclaje intervienen una serie de factores: la facilidad de separación de los materiales descartados, los posibles usos del material reciclado y la tecnología necesaria para ello. De esta forma se puede entender la importancia que tiene un material al término de su vida útil. Es decir, un material debe ser diseñado de tal forma que sea amigable con el medioambiente, para que luego de ser usado, pueda reciclarse o desecharse para su degradación (8).

5.6. MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que, si bien algunos de ellos son naturales como la madera o el hueso, la gran mayoría de ellos son diseñados y “fabricados” por el hombre con el fin de satisfacer unas características deseadas (8)

En los últimos 40 años, los *composites*, plásticos y cerámicos han sido los materiales dominantes en el mercado. El volumen de producción y de utilización de estos materiales se encuentra creciendo continuamente hasta el punto de abrir

campo en nuevos mercados. Existen varias razones por las que los materiales compuestos están ganando terreno en los mercados globales, esto se debe fundamentalmente a su resistencia y peso considerablemente bajo en comparación a otros materiales, por lo que se logra fabricar componentes más ligeros sin comprometer su desempeño. (9)

Un material compuesto consta de tres elementos: la matriz, el refuerzo y la interface. La combinación de propiedades de dichos elementos debe ser adecuada, para que el resultado obtenido llegue a poseer propiedades mejoradas de manera significativa.

5.6.1. Matriz. Es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”, es decir, sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material.

Las funciones básicas de este material son:

- Aglutinar el refuerzo
- Transferir las cargas aplicadas sobre ella hacia el refuerzo
- Servir como superficie protectora del refuerzo a la abrasión mecánica
- Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente
- Proveer soporte lateral bajo cargas de compresión.

El material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto. Entre las propiedades mecánicas, se encuentran la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, por lo tanto, el modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo.

Las matrices poliméricas son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices pueden ser reforzadas con fibras de origen natural o sintético.

5.6.2. Refuerzo. El material de refuerzo es la fase que se adiciona a la matriz para modificarle ciertas propiedades. Generalmente, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánica, pero, también se emplean para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión. Básicamente la matriz transfiere parte del esfuerzo que se aplica a los cuerpos de refuerzo, los cuales soportan una fracción de la carga. El mejoramiento del comportamiento mecánico del material depende del tipo de refuerzo utilizado (Tabla 1) y la adhesión entre matriz-refuerzo. (RODRIGUEZ, 2014).

Tabla 1: Clasificación de las fibras según su origen

CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE REFUERZO			
SINTÉTICAS	NATURALES		
<p>Son aquellas que se obtienen por procesos químicos sin intervención de la naturaleza, son elaboradas completamente por el hombre a partir de sustancias artificiales. Las materias primas para la fabricación de las fibras sintéticas son: La sílice, el carbón, el petróleo y los gases naturales.</p> <p>Algunas de las fibras sintéticas más conocidas son: Fibras de vidrio, carbono y aramida</p>	<p>Las fibras naturales son aquellas obtenidas de los diversos reinos naturales y son una verdadera alternativa ecológica más saludable que las fibras sintéticas.</p>		
	<p>Animales</p> <p>Desde un punto de vista químico, las fibras de origen animal son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos. También resisten, en unas condiciones determinadas, la acción de ciertos ácidos minerales como el ácido sulfúrico (H₂SO₄).</p>	<p>Minerales</p> <p>Estas fibras son extraídas directamente de los minerales y en ese mismo estado se emplean, no se les realiza ningún proceso químico, dentro de este grupo la más conocida es el amianto con aplicaciones fundamentalmente para el aislamiento térmico.</p>	<p>Vegetales</p> <p>Las fibras vegetales son principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis. Las fibras de origen vegetal tienen muchas aplicaciones en la industria del papel como el algodón y el lino para papeles rugosos de calidad, o el yute y el cáñamo de Manila para papeles de embalaje.</p>

Fuente: (10)

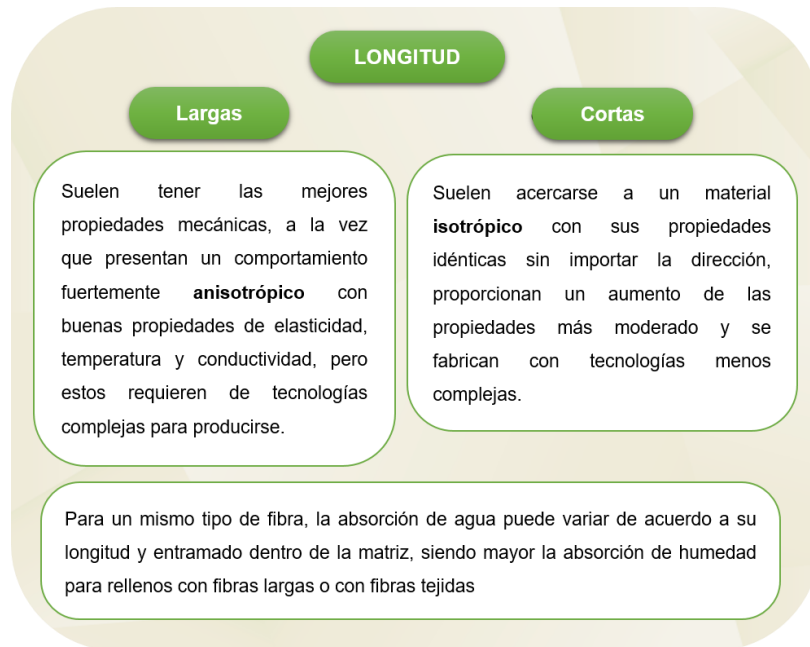
Existe gran variedad de alternativas para conformar un material compuesto según la configuración que tenga el refuerzo, el cual puede variar conforme la forma física del material y el tamaño de los cuerpos confiriéndole diferentes características al *composite* como lo describe las figuras 3 y 4.

Figura 3: Clasificación de refuerzos según su forma.



Cuando el refuerzo se encuentra en forma de fibras, el tamaño de dichas fibras también le confiere características diferentes al material compuesto.

Figura 4: Clasificación del refuerzo en fibras



5.6.1.1. Fibras vegetales. Las fibras vegetales son filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerénquima, que se encuentran formando parte de las plantas y que cumplen funciones específicas dentro de ellas, como las de dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales. Según la parte de la planta en la que se localizan, las fibras poseen distintas características y propiedades, lo cual las clasifica básicamente en tres grupos: las fibras blandas, duras y de superficie (10)

Las fibras que componen las hojas de las plantas constituyen las fibras duras entre las que se encuentran el abacá, sisal, cuarua, formio y fique; estas fibras presentan mayor grosor, aspereza y rigidez por su alto contenido de lignina y son obtenidas a partir de la separación mecánica de la corteza del tallo mediante maquinaria industrial, este proceso recibe el nombre de descortezarían.

Tabla 2: Tipos de fibras vegetales y su ubicación dentro de la planta

F. Blandas	F. Duras	F. Superficie	Otras	
Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Cañamo	Abaca	Algodon	Palma aceitera	Esparto
Ramio	Sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuarua	Algodoncillo		Bambu
Kenaf	Formio			Bagazo
Yute				

Fuente: (11)

Entre las ventajas que ofrecen dichas fibras se puede encontrar: la disponibilidad en grandes cantidades, bajo peso, biodegradabilidad, bajo costo, son renovables, baja naturaleza abrasiva y propiedades mecánicas específicas muchas veces superiores a las fibras sintéticas. También algunas desventajas están relacionadas con su hidrofiliidad que en algunos casos afecta la adhesión entre las materias primas, la degeneración rápida del material y fallas en resistencia; pero estas desventajas pueden ser solucionadas utilizando tratamientos para modificar superficial o químicamente las fibras y así mejorar sus propiedades.

Algunas de las características de las fibras vegetales más utilizadas en la elaboración de materiales compuestos son las siguientes:

- El Fique es ampliamente usado en el comercio por ser de unas buenas prestaciones mecánicas y por su longitud. Se planta para ser empleado en empaques, geomembranas y en aplicaciones artesanales.
- Las fibras de coco se obtienen como subproductos, es posible extraer en promedio unos 125g de fibras, la mayor dificultad que presentan estas fibras es su longitud, es usual que se empleen para la fabricación de colchones.

- El bagazo de caña, son por lo general subproductos de la industria azucarera, es de una apariencia mucho más frágil y tiene una masa que la acompaña, que son los conductos donde se almacena la sacarosa elemento que puede dificultar su extracción.
- La guadua presenta cambios en sus dimensiones por la expansión térmica y volumen por la humedad por lo tanto sus propiedades son diferentes, pero se dice que tiene un comportamiento similar a la madera.
- El algodón es casi celulosa pura, con suavidad y permeabilidad al aire que lo han hecho la fibra natural más popular del mundo. El largo de la fibra varía de 10 a 65 milímetros.
- El yute es largo, suave y brillante, con una longitud de 1 a 4 metros y un diámetro de entre 17 a 20 micras. Es una de las fibras naturales vegetales más fuertes y con gran cantidad de producción.
- El sisal es una fibra fuerte, durable y alargable, no absorbe humedad fácilmente, resiste el deterioro del agua salada, y tiene una textura superficial fina, mide aproximadamente 1 metro (12)

5.6.1.2. Modificación superficial. Las modificaciones superficiales de las fibras naturales se han utilizado para estandarizar o mejorar sus propiedades, mecánicas o químicas para mejorar su rendimiento en diferentes materiales compuestos. Diferentes investigaciones han mostrado que tanto tratamientos físicos como químicos a las fibras naturales incrementan su adhesión con la matriz del compuesto o biocompuesto.

La modificación superficial de las fibras celulósicas superficiales incluye: tratamientos físicos, como extracción con disolventes; tratamientos físico-químicos, como el uso de descargas corona y plasma o láser, rayos-γ y el bombardeo UV y las modificaciones químicas.

Tratamiento alcalino (NaOH)

El tratamiento alcalino conduce al aumento de la cantidad de celulosa amorfa, por eliminación de los enlaces de hidrógeno en la estructura de la red celulósica. Los grupos acetil reaccionan con los grupos hidroxilo de la fibra y extrae la existencia de humedades. Como resultado la naturaleza hidrofílica de la fibra disminuye y mejora la estabilidad dimensional.

Acetilación (Ac)

Su principal objetivo es la reacción de los grupos hidroxilo (OH) de la fibra con los grupos acetilo (CH₃CO), haciendo que su superficie se torne más hidrofóbica. Además, aumenta la estabilidad dimensional de los materiales compuestos que se fabrican con ellas y les dan mayor estabilidad térmica por la mejora de las interacciones de fibra-matriz.

Esterificación: Epiclorhidrina

La modificación de las fibras celulósicas por esterificación mejora ciertas nuevas gamas de propiedades y hace que sea más útil y aceptable en diversas aplicaciones. En procesos de esterificación para modificación de fibras naturales se ha reportado que mejora sus características para poder ser utilizadas en procesos de moldeo por presión o extrusión. (RODRIGUEZ, 2014)

5.7. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES COMPUESTOS

Las propiedades del material compuesto no dependen únicamente de las características de sus componentes, también juega un papel importante el proceso de conformación del material. La selección del proceso de fabricación permite satisfacer los requerimientos que debe cumplir el material al mismo tiempo que este representa casi un 60% del costo total del producto. Dentro de los factores para

determinar el procesamiento se encuentra el tipo de matriz, la geometría y tipo de refuerzo, la aplicación que se le va a dar al material. (1)

Algunos de los procesos utilizados en la fabricación de materiales compuestos se describen a continuación:

Estratificación de preimpregnados

Para realizar este proceso se elabora una mezcla de fibras de refuerzo puestas unidireccionalmente que luego son impregnadas con el polímero, sus resultados son laminas que posteriormente se utilizan en procesos de moldeo de materiales; esta técnica permite un control de la fracción volumétrica y la dispersión homogénea del polímero en la fibra.

Las ventajas considerables de la utilización de este proceso son buena resistencia mecánica y química. en el caso de la utilización de matriz termoplástica estos son reciclables y flexibles pero las altas temperaturas y presiones que se requiere limitan sus aplicaciones.

Los métodos para la obtención de preimpregnados termoplásticos son:

- a. Recubrimiento por fusión en caliente, donde la fibra y resina son extruidas a la par en forma de lámina.
- b. Apilamiento de láminas, es un método donde láminas de polímero se intercalan con la fibra y se compactan bajo temperatura y presión.
- c. Deposición electrostática, para este método el polímero se requiere en forma de polvo para que sea fluidizado mientras la fibra pasa y se recubre debido a la carga electrostática, luego las fibras recubiertas se someten a temperatura para que funda el plástico y forme una lámina continua del material.
- d. Fusión en caliente, aquí la resina se aplica sobre la fibra en estado viscoso, pero genera dificultad para impregnar todas las fibras.

Moldeo por compresión

En el desarrollo de esta técnica se utilizan los moldes tipo macho-hembra donde se dispone el material por capas tanto de matriz como de refuerzo al que posteriormente se le aplica presión y este va adquiriendo la forma propuesta; para materiales termoplásticos además de presión se utiliza temperatura para que la matriz fluya entre las fibras.

Este proceso está compuesto por tres fases:

1. Pre calentamiento, donde se sitúa el refuerzo y el polímero en el molde metálico antes tratado con desmoldante, inmediatamente se cierra el molde y se ubica en la prensa calefactora donde se aplica una presión muy baja hasta que la temperatura llegue a la temperatura de fusión del polímero.
2. Moldeo, en esta fase se aplica una presión mayor para que el plástico fundido fluya a través del espacio entre las fibras y las impregne.
3. Enfriamiento, en donde el molde es enfriado en una prensa con sistema de refrigeración manteniendo la presión constante hasta que el nuevo material se solidifique.

Para un buen resultado de este proceso es necesario tener total control de los parámetros: temperatura, presión y tiempo.

Extrusión

Este método se emplea para la fabricación de piezas con sección transversal constante donde el material sale a través del orificio de un dado. El equipo más utilizado para este proceso es la extrusora de tornillo que debido a la rotación del tornillo sinfín se va expulsando el polímero por medio de una boquilla; para este método es necesario que el material se encuentre en forma de pellets y los parámetros que deben tener controlados durante el proceso son la presión y la temperatura.

Para la técnica de extrusión se usan los siguientes pasos:

- a. Se introduce el material de forma constante a través de la tolva de alimentación de la extrusora.
- b. Se configuran los parámetros de presión y temperatura que deben ser controlados durante todo el proceso.
- c. El material es fundido cuando pasa por la garganta hacia el barril donde se localiza el tornillo sinfín que mezcla, fusiona y transporta el compuesto.
- d. Luego el material fluye por la boquilla la cual determina su forma y es expulsado hacia la cama de agua donde se enfría.

Inyección

Este método se emplea en la fabricación de polímeros termoplásticos y compuestos de matriz termoplástica. El material es fundido y transportado a un molde cerrado donde se solidifica.

Para los materiales compuestos se utilizan dos técnicas para adicionar la fibra reforzante al compuesto, mediante poltrusión o utilizando una preforma de la fibra dentro del molde para luego inyectar el polímero. Los parámetros de procesamiento son: presión de inyección, presión de empaque, temperatura de llenado, temperatura de moldeo y tiempo de llenado. Para la utilización de fibras naturales como refuerzo es necesario tener en cuenta los parámetros de procesamiento y así evitar que haya degradación, segregación y reducción del tamaño de la fibra.

El proceso requiere de los siguientes pasos:

- a. Secado de pellets en horno para evitar la humedad y problemas de funcionamiento de la maquina inyectora.
- b. Se introducen los pellets en tolva y se configura el equipo con los parámetros de temperatura, presión y velocidad del tornillo.
- c. El material es transportado por el tornillo y a la vez va siendo fundido para que fluya a través de la boquilla donde se presuriza y es inyectado por las cavidades del molde.

- d. El material desplaza el aire y el molde cerrado se mantiene a con presión de 50 a 100 MPa.
- e. Se enfría el molde a temperatura controlada generando la solidificación del plástico.
- f. Se abre el molde y la pieza se extrae.

Las ventajas de utilizar este proceso es que permite gran volumen de producción y se obtienen piezas con formas complejas y de buenos acabados; además el desperdicio de material es mínimo y se puede reciclar.

ETAPA 1

6. DEFINICIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Un objetivo importante en el desarrollo del proyecto es proponer la implementación de un material reconstituido de características especiales otorgadas por el reforzamiento de fibras, para lo cual fue necesario el estudio y análisis de investigaciones anteriores en el tema y conocer el estado del arte de los materiales reconstituidos en la ciudad de Bucaramanga, que sirvió como marco de referencia para la selección de materias primas.

6.1. MATRIZ POLIMÉRICA DE ORIGEN RESIDUAL

El mercado del plástico reciclado es el más complejo y el que menos información disponible existe porque la demanda de este material está dispersa y fundamentalmente atiende a diversas empresas dedicados a producir un sin número de productos elaborados en diferentes tipos de polímeros; Sin embargo, se puede resaltar que existe un segmento de pequeña y mediana empresa para aprovechamiento del plástico reciclado en Colombia, principalmente como CODESARROLO, COPERENKA y Aproplast. De las citadas empresas, por ejemplo, las cantidades recuperadas por la red de recolección de CODESAROLLO se situaron en 2,932 toneladas de PET y 1,973 toneladas de PEAD, PEBD, PPYPS, para el año 2010. (13)

Actualmente, en el municipio de Bucaramanga existen tres organizaciones de recicladores que son: la cooperativa multiactiva de recicladores BELLO RENACER, cooperativa de trabajo asociado reciclaje y servicios COOPRESER y la asociación de recicladores "RECICLEMOS". Las dos organizaciones que realizan rutas selectivas en el municipio de Bucaramanga son la cooperativa BELLO RENACER y COOPRESER; mientras que la asociación de recicladores RECICLEMOS tiene a sus miembros dispersos por toda el área geográfica del municipio de Bucaramanga, quienes no cuentan con el equipo, maquinaria, espacio e instrumentos para realizar o garantizar la operación de una ruta selectiva.

A partir de los datos obtenidos de las dos organizaciones mencionadas anteriormente, se pudo conocer una cantidad estimada en términos de toneladas de materiales poliméricos recuperados mensualmente que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Cantidad de residuos recuperados por tipo de material.

CANTIDAD DE RESIDUOS RECUPERADOS	PESO (Ton/mes)
(1) PET Teraftalato de polietileno	67,43
(2) PEAD Polietileno de alta densidad	46,20
(3) PVC Policloruro de vinilo	13,32
(4) PEBD Polietileno de baja densidad	27,66
(5) PP Polipropileno	30,67
(6) PS Poliestireno	15,50
(7) Otros: Resinas de plástico o mezclas	8,25
TOTAL PLÁSTICOS	209,03

Fuente: (14).

A pesar de los esfuerzos realizados por las empresas prestadoras del servicio de reciclaje en Bucaramanga, se estima que se están rescatando únicamente el 3,6% y el material restante resulta en rellenos sanitarios (15). Este fenómeno se da principalmente por la insuficiente separación de residuos en la fuente y, como

causas secundarias, la falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos; falta de coordinación interinstitucional del tema; falta de recursos financieros por parte de los municipios, entre otras. (16)

A causa de las falencias en la etapa de separación y recolección de residuos, se estima que, los residuos de plástico que están llegando al relleno sanitario El Carrasco en un porcentaje de 8,8%. Del total de estos residuos se observó un estimado del 70% de plástico PET y el restante 30% de los diferentes plásticos. (17)

6.1.1. Trabajo de campo. Tras indagar sobre las empresas encargadas del aprovechamiento de residuos plásticos en el área metropolitana de Bucaramanga, se realizó un trabajo de campo con el objetivo de conocer la disponibilidad de plástico reciclado y las condiciones físicas en las que es ofrecido al público para elegir y recolectar el polímero.

Cooperativa Coopreser. COOPRESER LTDA es una cooperativa de trabajo asociado que presta servicios de aseo y reciclaje en la ciudad de Bucaramanga, Santander, Colombia. Se creó en 1987 con el fin de mejorar las condiciones de vida de los rebuscadores que ocupaban un relleno sanitario denominado El Carrasco. Actualmente cuenta con 120 asociados que se dedican a diversas labores ligadas con el reciclaje y los servicios de aseo: recolección de material reciclable en fuente; servicios de aseo en empresas y edificios; servicios de aseo en instituciones del estado y selección de material reciclable. (18)

Los principales materiales que se recuperan gracias a la labor de la Cooperativa son el vidrio, papel, chatarra y plástico. El plástico que se recupera es clasificado de la siguiente manera:

- Envases plásticos: Envases de gaseosas, envases de productos de consumo humano, envases de aceite, tarros y recipientes, recipientes de cocina, baldes, tinas, sillas rimax, etc.
- Película: Bolsa de polipropileno clasificada en: Bolsa que suena, bolsa que no suena y bolsa policolor (rojo, blanco, negro, azul celeste, transparente).
- Plástico sin potencial de recuperación: envase flexible laminado de plástico. Se identifica como material que suena por su aleación de aluminio, es un tipo de desecho que llega en grandes cantidades, pero no se recupera porque no existe el mercado que lo demande.

Figura 5: Clasificación de materiales Coopreser – envases plásticos.



Figura 6: Clasificación de materiales Coopreser – envases PET por color.



Figura 7: Clasificación de materiales Coopreser – película.



Un tipo de residuo que más tiene problemas de aprovechamiento y no tiene demanda es el plástico soplado post-consumo proveniente de diferentes empaques que se encuentra en mayor proporción, ya que dicho residuo se encuentran distintas resinas poliméricas y deben pasar por un proceso de separación rigurosa, de la cual se debe encargarse el comprador de este material.

La presentación del plástico recuperado es en forma de cubos comprimidos de 1 Kg para ser comercializado al mercado de la transformación, el cual es adquirido en su mayoría por la empresa REPLASANDER en Bucaramanga. El costo de algunos tipos de materiales que se clasifican en la cooperativa se presenta en la tabla 2.

Tabla 4: Cantidad y precio del plástico recuperado en Coopreser.

CLASIFICACIÓN	PESO (ton/mes)	PRECIO por Kg
Pasta	7-10	Color: 800 \$ Transparente: 1300\$ PET: 850\$ Soplado: 550 \$
Película	12-15	Color: 650 – 850\$

Replasander. REPLASANDER LTDA tiene como objetivo la transformación de materiales poliméricos de desecho como el Polietileno tereftalato, Polietileno de alta densidad, Polietileno de baja densidad, Policloruro de vinilo, Polipropileno,

Poliestireno y policarbonato; para luego obtener materia prima que ofrece al mercado nacional, distribuyendo hasta 120 Ton mensualmente a las principales ciudades del país. Hoy en día se posiciona como una de las principales proveedoras de empresas como Industrias Fuller Pinto S.A, Fiberglass Colombia, Soliplast, Mao Plásticos, entre otras.

Para el aprovechamiento y la valorización de los residuos plásticos Replasander Ltda. utiliza el proceso de reciclaje mecánico en su planta de recuperación. Después que el material llega al centro de acopio es clasificado manualmente por tipo de plástico y color; luego es molido y lavado para garantizar la eliminación de contaminantes, posteriormente se realiza el proceso de secado por medio de secadoras de centrifugado el cual elimina exceso de humedad en el material y se realiza una nueva molienda con el material ya limpio, para finalizar se empaqueta y embala para su comercialización (Figura 8)

Figura 8: Etapa de separación, lavado y empaque



Fuente: (19)

FAPLASHER. Es una empresa ubicada en la ciudad de Bucaramanga dedicada a la inyección de productos plásticos como ganchos para confección, sonajeros para bebe, envases para pintura, cucharas y paletas de helado, exhibidores de joyería, entre otros. Varios de los cuales están elaborados en polipropileno y polietileno de baja densidad de origen reconstituido que son recuperados en la misma empresa o adquiridos en otras empresas.

Figura 9: Línea de sonajeros Faplasher.



Fuente: (20)

6.2. FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO

Las fibras naturales han emergido como una alternativa para el reforzamiento de materiales; el sisal, el algodón, el lino, el cáñamo, almidón de coco, yute y plátano son ejemplos importantes de las fibras naturales vegetales, las cuales cuentan con varias ventajas tales como: disponibilidad en altas cantidades, bajo peso, biodegradabilidad, bajo costo, renovables, baja naturaleza abrasiva, propiedades mecánicas específicas muchas veces superiores a las fibras sintéticas (10).

A pesar de dichas ventajas, por su característica hidrofílica derivada de la lignocelulosa, la como resultado baja adhesión con las matrices poliméricas hidrofóbicas, además de propiciar su envejecimiento prematuro, degradación y pérdida de resistencia (22). Sin embargo, existen diferentes tratamientos y procedimientos que ayudan a evitar la degradación del material y una posible falla como refuerzo.

6.2.1. Fibra de fique. El fique es una planta originaria del sector tropical de América la cual crece en climas templados y secos, actualmente las regiones donde más se cultiva fique en Colombia es en los Departamentos del Cauca, Nariño, Santander y Antioquia. Santander tiene gran tradición en el cultivo y procesamiento del fique destacándose como principales municipios productores: Mogotes y San Joaquín. El producto que se obtiene del fique (cabuya) es utilizada en mayor proporción para la elaboración de costales para empacar papa, maíz, yuca, zanahoria, plátano y café; y productos secundarios como textiles para aplicaciones domésticas y decorativas.

A pesar de la rentabilidad en la producción de cabuya, este sector es poco atractivo para los agricultores por lo se hace necesario adelantar proyectos de investigación que estén orientados a mejorar las técnicas productivas y aprovechamiento del fique.

Actualmente, el sector del fique ha tenido que enfrentar una gran competencia debido al ingreso de bienes sustitutos al mercado como el empaque de yute y de plástico, cuyos precios se encuentran por debajo del empaque de fibra. En términos generales, existe una problemática con la aplicabilidad de esta materia prima en diferentes productos y ausencia de líneas de investigación de tecnologías en fibras naturales. (21)

Características de la planta. La planta de fique consta de hojas rígidas que pueden llegar a medir hasta 2 metros de longitud; sus fibras son ásperas, rígidas y muy resistentes a la tensión.

El tipo de fibras y su calidad varían de acuerdo especie, variedad, suelo y clima influyendo en su resistencia a tracción, elongación, fineza y otras características físicas. (21)

Obtención de la fibra

- Corte: Se retiran las hojas maduras de la base de la planta.

- Desfibrado: Se separa la corteza y pulpa de las fibras que se encuentran en el interior de la hoja.
- Lavado: La cabuya desfibrada pasa por un tanque de agua para retirar los restos de corteza.
- Escarmenado: Una vez seca la fibra, esta pasa por un cepillo de dientes metálicos para separar las hebras y terminar de limpiar el material.

6.2.2. Tratamiento superficial de las fibras naturales. La modificación superficial de las fibras es necesaria para mejorar características de las mismas tales como su adhesión a la matriz, el contenido de humedad, la porosidad etc. por medio de la remoción de cierta cantidad de lignina, cera y aceites presentes en su superficie.

Los diferentes tratamientos químicos incluyen: el tratamiento alcalino (NaOH), el tratamiento de silano (SiH₄), acetilación, tratamiento de permanganato, acrilación, agentes de acoplamiento maleados y otros. Que también sirven para reducir la tendencia de absorción de humedad del compuesto, le confiere estabilidad dimensional y térmica, y por lo tanto aumenta sus propiedades mecánicas.

La forma más común de disminuir la capacidad de absorción de humedad de las fibras naturales es a través del tratamiento de alcalización a 2-10% de concentración por 10-30 minutos seguido por una neutralización con ácido a baja concentración y lavado con agua destilada. Aunque, si las fibras no se lavan correctamente, su degradación puede continuar causando eventualmente su hinchamiento y rompimiento. Otras de sus consecuencias incluyen la producción de agua contaminada de desecho, degradación de las fibras de celulosa y altos valores de pH. (22)

6.3. PROPORCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

La proporción de los componentes del material compuesto influye directamente en las propiedades que se pueden llegar a obtener, en diferentes investigaciones estudian el comportamiento de dichas proporciones junto con la influencia de la longitud de las fibras para el compuesto.

En el caso de la preparación de polipropileno reforzado con Jute mediante moldeo por compresión, se probaron mezclas de 5%, 10% y 15% y longitudes de 1, 2 y 4mm, observándose que el esfuerzo a tensión aumentaba proporcionalmente al tamaño de la fibra y su porcentaje en peso hasta cierto punto (2mm y 10%) después del cual se disminuía el esfuerzo a tensión. En el estudio del comportamiento de las fibras de Jute sobre una matriz biodegradable bajo las proporciones en peso de 10, 20 y 30% de fibra, observando el incremento del esfuerzo a tensión y flexión en proporción al incremento de la proporción en fibra del composite, mientras el esfuerzo al impacto permanecía sin alteraciones notables. (22).

En el reforzamiento de almidón termoplástico de yuca con fibras de fique a 10%, 15% y 20%, se observó que con un 10% de concentración se obtiene una matriz plastificada, por el contrario, con las siguientes dos proporciones el composite no muestra homogeneidad debido a que el incremento de fibra interrumpe la gelatinización del polímero. (23)

En general, en diversos estudios se evidencia que el mejoramiento de las propiedades de la matriz concedido por las fibras de refuerzo se encuentra entre las proporciones de 5 y 10%, por tal razón se comprobarán dichas proporciones para la carga de fibra a la matriz.

6.4. CONCLUSIONES

Tras el estudio y análisis de investigaciones anteriores en el tema y conocer el estado del arte de los materiales reconstituidos en la ciudad de Bucaramanga, se eligieron los polímeros termoplásticos de mayor disponibilidad como residuo urbano en la ciudad, como lo son el PET, PEAD, PEBD y PP, con el fin de evaluar su transformación como material reconstituido y posible mejora tras su reforzamiento con fibras cortas de fique tratadas con hidróxido de sodio en proporciones de 5% y 10% en peso.

ETAPA 2

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MATERIAL COMPUESTO

En esta etapa del proyecto se desarrolló el método para la obtención de un material compuesto de matriz polimérica termoplástica reconstituida y reforzado con fibra natural con características adecuadas para su aplicación en el diseño de un cultivo vertical.

El objetivo principal de esta etapa se concentra en conocer las propiedades mecánicas de polímeros termoplásticos de post consumo reforzados con fibras naturales de fique en proporciones de composición de 5 y 10% en peso.

Se realizó una caracterización mecánica de los materiales a flexión para obtener variables como el módulo de elasticidad y resistencia máxima a flexión de las probetas, y ensayos a tensión para conocer la resistencia última a tensión y el porcentaje de elongación.

7.1. MATERIAS PRIMAS

7.1.1. Matrices. Para la realización de las probetas para los ensayos mecánicos se seleccionó en la etapa anterior cuatro polímeros termoplásticos de post consumo; los cuales son: polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y polipropileno.

Polietileno tereftalato. El PET generalmente se lo encuentra en diferentes tipos de envases como gaseosas, agua, aceites, shampoo, y otros empaques en general.

Esto hace que el PET post consumo se encuentre mezclado con otros tipos de plástico proveniente de etiquetas PEAD, tapas de PP y PVC, y adhesivos. La presencia de estos materiales a la hora de reciclar origina que el PET pueda presentar turbidez o degradación disminuyendo su viscosidad. Así que se debe tener en cuenta que las propiedades del PET se degradan por rompimiento de las cadenas moleculares (24).

Existen muchos estudios que describen el éxito del reciclaje de PET, y los requisitos mínimos que debe cumplir para su utilización en aplicaciones de alto valor que son la separación de colores, contaminación mínima, viscosidad intrínseca cerca de los valores originales, y una calidad constante de lote a lote.

Tabla 5: Propiedades del PET

PROPIEDADES	VALORES
Densidad	1,30 g/cm ³
Absorción de agua - equilibrio	<0,7 %
Resistencia a la tracción	190 – 160 Mpa
Resistencia al impacto	13 – 35 Jm ⁻⁴
Temperatura de transición vítrea	125°C
Temperatura de fusión	265°C

Para el reciclado mecánico del PET se tienen en cuenta los siguientes pasos: separación, lavado para eliminar la suciedad y los contaminantes, trituración y molienda para reducir el tamaño de las partículas de PET, reextrusión, y reprocesamiento para la producción de nuevos bienes de PET. Es posible reciclar PET termoplástico mecánicamente, mientras que es imposible reciclar PET termoestable, ya que no se puede remodelar por el calor (25).

Polietileno de alta densidad. El polietileno de alta densidad es un material plástico que se encuentra en diversas formas, variadas presentaciones y es reciclable en un 90%; se caracteriza por su resistencia química, sus capacidades como aislante

termico, su tenacidad y su relativamente bajo coeficiente de fricción. Se utiliza, generalmente, en empaques, botellas flexibles y contenedores de productos químicos. El PEAD garantiza un volumen considerable de material potencialmente reciclable. (26)

Tabla 6: Propiedades del PEAD moldeado por inyección

PROPIEDADES PEAD MOLDEADO POR INYECCION	VALORES
Densidad	0,952 g/cm ³
Resistencia a la Traccion maximo	26,9 Mpa
Resistencia a la traccion ruptura	31,0 Mpa
Modulo de Flexion 2% secante	1100 Mpa
Resistencia al impacto	84,1 kJ/m ²
Temperatura de Fusion	131 °C
Temperatura de Ablandamiento	129 °C

El aprovechamiento post-consumo del PEAD es un tema de gran interés puesto que aproximadamente el 70% de los productos fabricados con este polímero tienen un tiempo promedio de vida útil de 2 años.

Entre los tipos de procesos de reciclado, el más extendido es el reciclaje mecánico, en el que el plástico se recupera a partir del flujo de residuos y es convertido en copos, gránulos o polvo. Posteriormente se someten a clasificación, trituración y lavado para estar listos para su transformación en nuevos productos. Este tipo de reciclaje es la mejor opción desde la perspectiva ambiental si se compara con los otros tipos de reciclado, ya sean químicos, físico químicos o de recuperación de energía. (27)

Polietileno de baja densidad. El polietileno de baja densidad es una resina termoplástica que se obtiene mediante procesos de polimerización en masa del

etileno a presiones elevadas; posee una estructura molecular altamente ramificada y una distribución de peso molecular amplia que permite que tenga una densidad baja comparada con el PEAD. El PEBD se caracteriza por su buena resistencia térmica, química y al impacto, además por ser un material flexible, ligero y de fácil procesamiento (se puede procesar por cualquier método usado en los termoplásticos). Es utilizado para elaborar bolsas plásticas, bolsas de invernadero, juguetes, etc.

Tabla 7: Propiedades del PEBD

CARACTERISTICAS	VALORES
Densidad [g/cm ³]	0,915
Temperatura de cristalización [°C]	105
Esfuerzo a ruptura [N/mm ²]	8,0 - 10
Elongación a ruptura [%]	20
Modulo elástico E [N/mm ²]	200

Fuente: (28)

Polipropileno. El polipropileno es un polímero que puede ser fabricado como plástico y como fibra ya que es un material liviano. Por su baja densidad es empleado en forma plástica y además se usa para elementos que requieren temperaturas de estabilización altas ya que se mantiene estable hasta los 100°C sin deteriorarse. Es utilizado como fibra para piscinas y canchas de tenis por su bajo porcentaje de absorción de agua, por lo que es un buen candidato para utilizar como matriz por sus propiedades. (29)

Tabla 8: Propiedades físicas y mecánicas del Polipropileno

CARACTERISTICAS	VALORES
Densidad [g/cm ³]	0.90 – 0.907
Absorción de agua [%]	0.01 – 0.03
Resistencia a la tensión [MPa]	21 – 37
Elongación ruptura [%]	20 - 800
Módulo tensión [MPa]	1100 – 1300

Fuente: (30)

7.1.2. Reforzante. Las fibras naturales de fique poseen ventajas por su disponibilidad y procesamiento en la región, baja densidad, buena resistencia a la corrosión natural, facilidad de separación, bajo costo, biodegradabilidad entre otras. Para la preparación del material compuesto, su proporción en peso será de 5 y 10 %.

El comercio de la fibra de fique se debe a las buenas propiedades mecánicas que posee y a la longitud de sus fibras; la fibra es extraída de la parte carnosa de la hoja mediante el maquilado con una maquina desfibradora.

Tabla 9: Características de la fibra del fique

PROPIEDADES	VALORES
Densidad específica (gr/cm ³)	1,74
Absorción de agua (%)	60
Temperatura de degradación (°C)	220
Resistencia a tensión (Mpa)	132,40
Módulo de elasticidad (Gpa)	8,20 – 9,10
Elongación ultima (%)	9,80

7.2. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL

Para elaborar las probetas del material compuesto, además de las variables matriz y refuerzo nombradas anteriormente, se tuvo en cuenta una variación de la composición del porcentaje en peso entre la fibra y el polímero; para realizar la elección de los porcentajes se analizaron los resultados obtenidos en investigaciones anteriores donde los materiales compuestos demostraban mejores propiedades mecánicas cuando las fibras tenían una proporción entre 5, 10% en peso. Además, también se realizaron probetas de los polímeros reconstituidos sin refuerzo para comparar los resultados. Las composiciones finales de los materiales se presentan en la tabla 10.

Las probetas se realizaron aplicando temperatura durante un tiempo establecido al compuesto para fundir la matriz y que fluyera junto con las fibras para adherirse entre sí. Para este proceso se utilizó el horno de cerámicos del taller de la escuela de Diseño industrial.

Tabla 10: Variables independientes de la experimentación

MATRIZ	REFUERZO	COMPOSICIÓN % EN PESO DEL REFUERZO
PET	Sin refuerzo	0%
	Fibra de fique	5%
		10%
PEAD	Sin refuerzo	0%
	Fibra de fique	5%
		10%
PEBD	Sin refuerzo	0%
	Fibra de fique	5%
		10%
PP	Sin refuerzo	0%
	Fibra de fique	5%
		10%
NUMERO TOTAL DE TRATAMIENTOS		12

7.2.1. Acondicionamiento de materias primas.

Las matrices. El polietileno tereftalato y el polietileno de alta densidad fueron adquiridos en la empresa de reciclaje y transformación de plásticos REPLASANDER Ltda. Ubicada en el kilómetro 7 vía Girón. El polietileno tereftalato adquirido es extraído de envases plásticos de refrescos de color transparente con un valor comercial de 1800 pesos el kilogramo (Figura 10) y el polietileno de alta densidad es obtenido a partir del reciclaje mecánico de canastas para transporte de envases y su valor comercial es de 2200 pesos por kilogramo (Figura 11). Para finalizar con el acondicionamiento, se lavó y seleccionó manualmente el material para eliminar residuos de otros materiales y se dispuso para el secado a temperatura ambiente.

Figura 10: Hojuelas de PET transparente



Figura 11: hojuelas de PEAD



El polietileno de baja densidad y el polipropileno se adquirieron gracias a la empresa FAPLASHER, la cual obtiene el polietileno como residuo de los productos que comercializan (juguetes, paletas, ganchos.), dichos residuos son triturados y

almacenados para su posterior procesamiento y obtención de nuevos productos (Figura 12). Mientras que el polipropileno proviene de polisombra reciclada de la ciudad de Barranquilla, desde la cual es comercializada a Faplasher en forma de pellets para la fabricación de contenedores pequeños (Figura 13).

Figura 12: Hojuelas de PEBD.



Figura 13: Pellets de PP



La fibra natural. El fique utilizado para la realización del material fue obtenido del municipio de Onzaga, Santander, a un valor comercial de \$30.000 por tonelada. Posteriormente fue lavado y cepillado para extraer la pulpa vegetal aún presente en él.

Figura 14: Fibra de fique cepillada.



La modificación superficial realizada a las fibras para mejorar su adhesión a la matriz se basó en un tratamiento de alcalinización donde las fibras fueron inmersas en una disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) al 2% p/v durante una hora a temperatura ambiente (Figura 15); posteriormente fueron lavadas con agua destilada para eliminar el NaOH aun presente. Después las fibras fueron cepilladas y se secaron a temperatura ambiente durante 2 semanas, finalmente fueron cortadas a una longitud de entre 2 y 4 mm (Figura 16).

Figura 15: Fique bajo tratamiento de NaOH



Figura 16: Fibra corta de fique



7.2.2. Molde. Se emplearon tres moldes de aluminio para la realización de las probetas preliminares con medidas de 12 cm x 23 cm x 8cm aproximadamente (Figura 17), de la cual se cortaron las probetas con las dimensiones necesarias para los ensayos mecánicos.

Figura 17: Molde de aluminio



7.2.3. Calculo de la cantidad del material. Conociendo las dimensiones del molde, el espesor que exige las normas en los ensayos y la densidad de cada uno de los materiales se determinó la masa necesaria de cada material para los diferentes tratamientos.

Para ello se halló el volumen de masa a ocupar en cada molde usando las dimensiones que se encuentran en la tabla 11.

$$\text{Volumen} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Espesor} \text{ [cm}^3\text{]}$$

Tabla 11: Dimensiones necesarias para la realización de las probetas

	Molde 1	Molde 2	Molde 3
Largo (cm)	22,2	21,7	22,7
Ancho (cm)	12,2	11,8	12
Espesor probeta (cm)	0,40	0,40	0,40
Volumen Total (cm³)	108,34	102,42	108,96

Para el cálculo final de la masa de cada material en cada uno de los tratamientos se utiliza la siguiente formula:

$$m = \rho_{\text{material}} * \%_{\text{material}} * V_{\text{total}}$$

Tabla 12: Densidad de los materiales

MATERIAL	DENSIDAD (g/cm ³)
PET	1,30
PEAD	0,95
PEBD	0,91
PP	0,946
FIBRA DE FIQUE	0,15

7.2.4. Proceso de elaboración de las probetas. Para la conformación de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos de flexión y tensión se realizaron tableros con los diferentes tratamientos del material que luego fueron cortados a las dimensiones que indican las respectivas normas.

Tabla 13: Materiales e instrumentos utilizados.

Materias primas	Instrumentos y Materiales
Fibras cortas de fique	Moldes de aluminio
Polietileno de alta densidad	Gramera
Polietileno de baja densidad	Recipientes de medición
Polietileno tereftalato	Silicona lubricante en spray
Polipropileno	

Descripción del proceso

1. Ya habiendo realizado los cálculos de la carga de cada material, se procede a pesar en la gramera el material que se va a utilizar.
2. Se revisó que los moldes estuvieran limpios y secos para aplicar la silicona en spray que actúa como desmoldante del material. Es necesario aplicarla a una distancia mínima de 35 cm y dejarla secar por aproximadamente 2 minutos.
3. Se cargó manualmente el material en el molde en tres capas homogéneas para evitar que la fibra quede en las superficies de la probeta y así protegerla del calor.
4. Luego se programó el sistema operativo del horno, teniendo en cuenta 3 parámetros: Temperatura final, Tiempo para alcanzar la temperatura y tiempo de sostenido de la temperatura.
5. Se introdujeron los moldes con el material en el horno y se inició el proceso de calentamiento.
6. Luego de finalizado el tiempo del proceso, se dejó enfriar el horno hasta temperatura ambiente durante 3 horas aproximadamente. Se retiró la tapa del horno y se extrajeron los moldes para luego desmoldar el tablero conformado por el material compuesto.

Figura 18: Horno de Cerámicos



7.2.5. Prueba de temperatura de los polímeros. Se realizaron pruebas de temperatura para poder evaluar los valores teóricos de temperatura de fusión de cada material con respecto al proceso de calentamiento usado, y así establecer los valores más eficientes de tiempo vs temperatura según las condiciones a las que se procesará el material.

Tabla 14: Temperatura teórica y experimental de fusión.

Polímeros	Temperatura de fusión teórica °C	Temperatura de fusión experimental °C
PET	265	290
PEAD	120-140	220
PEBD	105-116	200
PP	160-170	200

Tabla 15: Prueba de temperatura

Material	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tiempo de sostenido (min)	Resultado
PET	280	30	60	No fundió el material
PET	300	30	20	Fundió completamente el material, pero la superficie expuesta se calcinó (Figura 19)
	350	5	30	
PET	300	30	10	Superficie Inferior con burbujas, superficie Superior empezándose a quemar (Figura 20)
PEAD	170	20	10	Superficie inferior con burbujas, No fundió completamente debido al tamaño de hojuelas. (Figura 21)
	220	20	30	
PEBD	220	20	40	Superficie irregular
PEBD	200	20	80	Funde completamente (Figura 22)
PP	200	20	80	Le quedan burbujas de aire
PP	220	20	80	Homogéneo (Figura 23)

Figura 19: PET a 350°C.

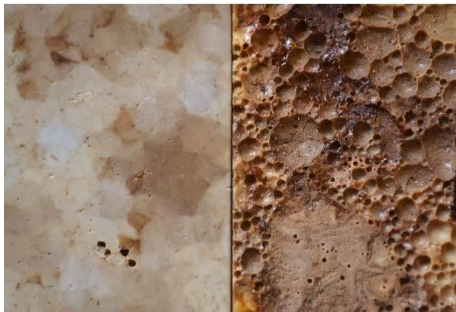


Figura 20: PET a 300°C



Figura 21: PEAD a 220°C.



Figura 22: PEBD a 200°C.



Figura 23: PP a 200°C.



7.2.6. Pruebas de compatibilidad. Tras conocer la temperatura de fusión de las diferentes matrices poliméricas, se elaboraron probetas de material compuesto utilizando como reforzante la fibra de fique en composición de carga de 5% y 10% en peso con el fin de comprobar la compatibilidad entre ellos y la resistencia de la fibra a la temperatura de fusión de cada polímero.

Tabla 16: Prueba compatibilidad Matriz vs Refuerzo

MATERIAL	CARGA	MOLDE	T° (°C)	T (MIN)	T SOSTENIDO (MIN)	RESULTADO
PET90	119,83	2	300	30	60	Superficie superior Material incinerado, fibras degradadas. superficie inferior burbujas por la presencia de moléculas de agua. (Figura 25)
Fique10	1,54					
PEAD90	87,57	2	220	20	40	Fibras afectadas por el calor. Acumulación de material de refuerzo. (Figura 26)
Fique10	1,54					
PEAD95	92,43	2	220	20	40	
Fique5	0,77					
PEBD95	88,55	2	200	20	80	Completamente homogéneo. (Figura 27)
Fique5	0,79					
PEBD90	89,24	3	220	20	40	
Fique10	1,68					
PEBD90	89	3	200	20	80	Gran presencia de burbujas de aire por deterioro del molde. (Figura 28)
Fique10	1,68					
PEBD85	79,22	2	200	20	80	Acumulación de material de refuerzo. (Figura 29)
Fique15	2,36					
PEBD95	88	2	200	20	80	
Fique5	0,79					
PEBD90	88	2	200	20	80	
Fique10	1,57					
PP95	87,57	2	190	20	100	Fundió parcialmente. Fibras afectadas por el calor. (Figura 30)
Fique5	0,79					
PP90	88,25	3	190	20	100	No fundió. (Figura 31)
Fique10	1,68					

Figura 24: PET + 10% Figue a 300°C

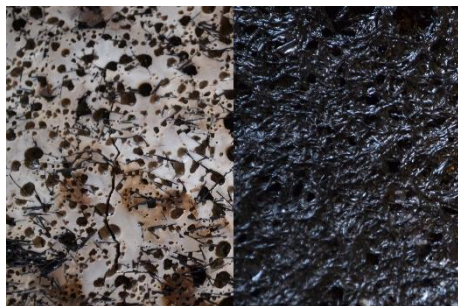


Figura 25: PEAD + 10% Figue a 220°C



Figura 26: PEBD + 5% Figue a 200°C.



Figura 27: PEBD + 10% Figue a 200°C.



Figura 28: PEBD + 15% Figue a 200°C



Figura 29: PP + 5% Figue a 190°C.

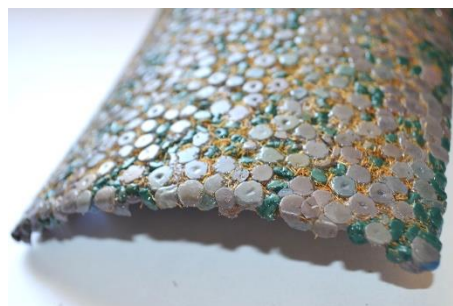


Figura 30: PP + 10% Fique a 190°C.



7.2.7. Análisis de resultados. La fibra de fique soporta hasta 220 °C aproximadamente sin degradarse, como puede observarse en las pruebas de temperatura y compatibilidad el uso de materiales poliméricos como el polietileno tereftalato y el polietileno de alta densidad afectan las fibras de fique por las altas temperaturas que necesitan para su procesamiento (290 °C y 220 °C respectivamente), por lo tanto se descartan estos dos polímeros ya que no funcionan por el procesamiento con el que se dispone actualmente para conformar el material compuesto a caracterizar.

7.2.8. Elaboración de probetas finales. Conociendo los parámetros temperatura, tiempo y tiempo sostenido que se necesitan para procesar cada uno de los compuestos con sus diferentes composiciones, se procede a realizar los tableros de material compuesto de matrices de polietileno de baja densidad y polipropileno, reforzados con fibra de fique con 5% y 10% en peso de carga; así como también probetas de polímero sin refuerzo.

Luego de obtener los tableros, se cortaron en el taller de Maderas de la escuela de Diseño Industrial en las dimensiones establecidas según las normas ASTM D638-02a y ASTM D790-02 para tensión y flexión respectivamente. Seguidamente se miden y pesan para obtener un mayor control de los resultados de las pruebas mecánicas.

Figura 31: Corte de probetas finales.



Figura 32: Probetas finales



Tabla 17: Parámetros utilizados en la elaboración de las probetas finales

MATERIAL	CARGA	MOLDE	T° (°C)	T (MIN)	T SOSTENIDO (MIN)	RESULTADO
PP90 Fique10	92,77 1,63	3	200	20	80	Tablero pandeado
PP95 Fique5	97,92 0,76	2	200	20	80	Burbujas en la superficie inferior
PP90 Fique10	92,77 1,63	3	200	20	80	Aprobada
PP95 Fique5	97,92 0,76	2	200	20	80	Defectuosa
PP100	92,18	2	200	20	80	Defectuosa
PEBD100	99,15	3	200	20	80	Por definir
PEBD95 Fique5	94,20 0,83	3	200	20	80	Defectuosa
PP95 Fique5	87,5 0,79	2	200	20	80	Por definir
PP90 Fique10	82,96 1,57	2	200	40	100	Aprobada
PEBD95 Fique5	94,20 0,83	3	200	40	100	Aprobada
PP100	92	2	200	40	100	aprobada
PEBD100	99	3	200	40	100	aprobada
PP90 Fique10	82,96 1,57	2	200	40	100	aprobada
PEBD95 Fique5	94,2 0,83	3	200	40	100	aprobada

7.3. ENSAYOS MECÁNICOS

La caracterización mecánica de las probetas constituidas por material compuesto de matriz polimérica y refuerzo en fibra de fique se llevó a cabo en el Laboratorio de resistencia de materiales en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Para cada ensayo se elaboraron 5 probetas de cada uno de los 6 tratamientos finales seleccionados para la conformación de los materiales compuestos.

Tabla 18: Caracterización físico - mecánica

TIPO	PRUEBA	VARIABLES INDEPENDIENTES	NORMA	# PROBETAS
Mecánico	Flexión	Esfuerzo máximo Módulo de elasticidad	ASTM D790-02	30
	Tensión	Esfuerzo Máximo Elongación	ASTM D638-02a	30
			TOTAL	60

7.3.1. Ensayo de Flexión. El ensayo de flexión consiste en someter las probetas del material compuesto a un esfuerzo aplicado en el centro, para esto las probetas son apoyadas libremente en sus extremos por medio de 2 rodillos. Con ayuda de este ensayo se pueden definir algunas propiedades mecánicas de los materiales tales como el módulo de elasticidad, rigidez y resistencia máxima a la flexión.

Para la realización de esta prueba se utilizó la norma ASTM D790-02 “Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos no reforzado y plásticos reforzados y materiales de aislamiento eléctricos”. Se sometieron a estudio 5 probetas de cada uno de los tratamientos para un total de 30 probetas.

El equipo utilizado fue la Maquina Hydraulic Wedge Grip ubicada en el Laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Industrial de Santander.

Según la norma ASTM D790-02 se tuvieron en cuenta los requerimientos para la preparación de las probetas para llegar a las dimensiones requeridas; se hallaron los parámetros de velocidad y distancia para la prueba; y el procedimiento para la aplicación de la prueba a flexión.

Dimensiones de las probetas

Las dimensiones de las probetas según la Norma fueron:

Largo: 12,7 cm + 5 cm

Ancho: 1,27 cm

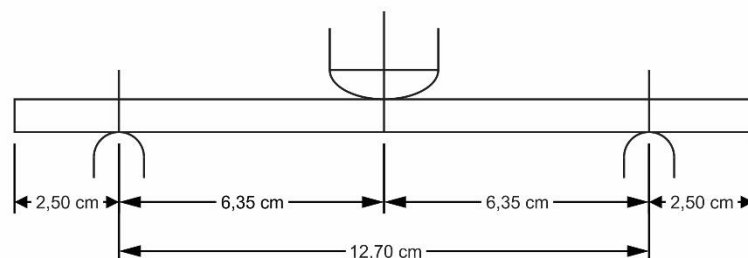
Espesor: 0,32 cm

Las probetas se acondicionaron con más de 40 horas de anticipación para la realización del testeo y este se hizo bajo condiciones ambientales normales.

Procedimiento

1. Determinar la posición de la probeta en la máquina.

Figura 33: **Posición de la probeta en la máquina.**



2. Calcular la velocidad de movimiento de la cruceta y se configura el equipo para el tipo de movimiento de la cruceta.

$$R = \frac{Z * L^2}{6 * d}$$

dónde:

R = tasa de movimiento de la cruceta, mm / Min

L = longitud de apoyo, mm

d = profundidad de la viga, mm

Z = tasa de esfuerzo de la fibra exterior, mm / mm / min. Z será igual a 0,01.

En ningún caso, las velocidades de la cruceta reales difieren de las que se calcula utilizando la ecuación 1, en más de un $\pm 10\%$.

$$R = 0,05 \text{ mm/min}$$

3. Luego se aplica la carga en el punto medio de la probeta con la velocidad anteriormente calculada, y se registra el esfuerzo máximo (MPa) y la deformación (%) de cada una de las probetas.

Cálculos

Teniendo los datos obtenidos en la prueba de flexión, se puede calcular el esfuerzo a flexión del material y el módulo de elasticidad con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_f = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2}$$

Donde:

σ_f = Esfuerzo a flexión (en las fibras exteriores en el punto medio), (MPa)

P = Maxima carga aplicada indicada por la maquina de ensayo, N (lbf)

L = Longitud de apoyo de la probeta, mm (pulg)

b = Ancho de la probeta en el punto de fractura, mm (pulg)

d = Espesor promedio de la probeta en el punto de fractura, mm

$$E = \frac{L^3 * m}{4 * b * d^3}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad en flexión, MPa

L = Longitud de apoyo, mm

b = anchura de haz probado, mm

m = Pendiente de la tangente a la porción de la línea recta inicial de la curva de carga-deflexión, N / mm

7.3.2. Ensayo de Tensión. La prueba consiste en someter las probetas normalizadas del material a esfuerzos crecientes de tensión en dirección a su eje mientras que éstas se van deformando y finalmente llegan a la rotura de la probeta, produciéndose en un tiempo relativamente corto. Para este ensayo es necesario que los extremos de las probetas sean de mayor sección para permitir la fijación de la probeta a las mordazas del equipo que va a realizar la lectura.

El ensayo a tensión se utiliza para encontrar principalmente la resistencia ultima a tensión y el porcentaje de elongación de los materiales.

La caracterización mecánica del material compuesto se realizó a partir de la norma ASTM D638-02 "Método de prueba estándar para las propiedades de tensión de los plásticos". Con el cual se sometieron a estudio 5 probetas por cada uno de los tratamientos anteriormente expuestos para un total de 30 probetas.

El equipo que se usó para realizar la caracterización fue la Maquina universal para prueba de resistencia de materiales ubicada en el Laboratorio de resistencia de materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Se establecieron los requerimientos necesarios para acondicionar las probetas finales que se utilizaron en el testeo, Los parámetros que requiere el equipo para su funcionamiento y el protocolo del procedimiento para la aplicación del ensayo a tensión.

Dimensiones de las probetas

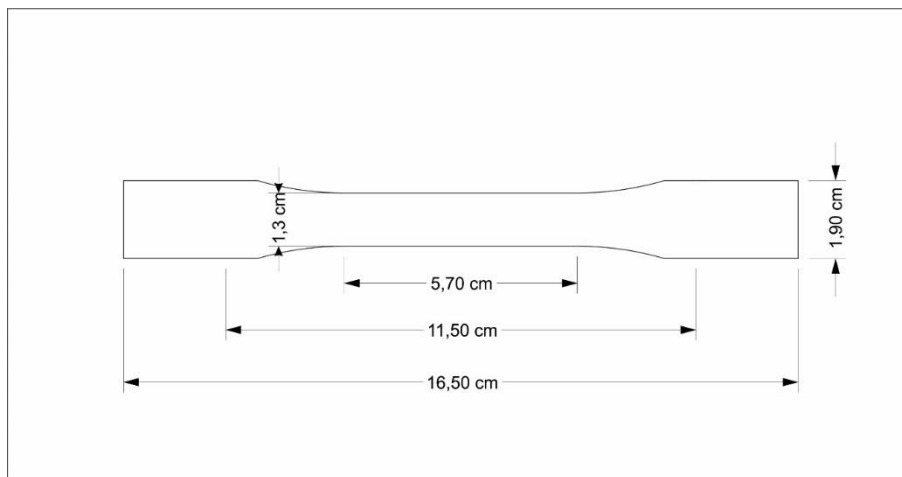
Según la norma los especímenes de prueba de materiales compuestos reforzados deben ajustarse a las dimensiones de la muestra tipo I como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19: Dimensiones de las probetas para ensayo a flexión

Dimensiones	Tipo I	Tolerancia
Ancho de la sección estrecha (mm)	13	±0.5
Longitud de la sección estrecha (mm)	57	±0.5
Ancho general (mm)	19	+6.4
Longitud total (mm)	165	No max
Longitud calibrada (mm)	50	±0.25
Distancia entre los puños (mm)	115	±5
Radio de filete (mm)	76	±1

Fuente: (33)

Figura 34: Dimensiones de la probeta final para ensayo a tensión.



Velocidad de la prueba

La velocidad de la prueba se determinó a partir de la tabla 20 según la especificación del material que se está caracterizando. Cuando no se especifica la velocidad, se utiliza la velocidad más baja de la tabla para el tipo de muestra que se usó para la elaboración de las probetas.

Tabla 20: Designación para la velocidad de las pruebas

Clasificación	Tipo de muestra	Velocidad de prueba (mm/min)	Tasa de deformación nominal al inicio de la prueba mm/mm-min
Rígidos y semirrígidos	I, II, III barras y tubos	5 ± 25%	0.1
		50 ± 10%	1
		500 ± 10%	10
	IV	5 ± 25%	0.15
		50 ± 10%	1.5
		500 ± 10%	15
	V	1 ± 25%	0.1
		10 ± 25%	1
		100 ± 25%	10
No rígidos	III	50 ± 10%	1
		500 ± 10%	10
	IV	50 ± 10%	1.5
		500 ± 10%	15

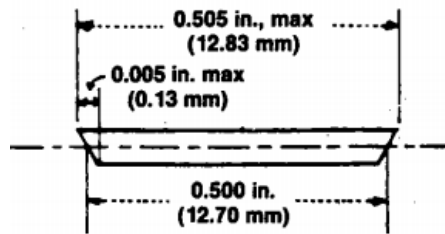
Fuente: (33)

Procedimiento

1. Se toma registro de las dimensiones ancho, largo, espesor y peso de las probetas a testear con ayuda de cinta métrica, calibrador y gramera respectivamente.
2. Se ubica la probeta en las empuñaduras de la máquina de ensayo. La distancia entre los extremos de las zapatas de agarre para muestras planas debe ser como lo indica la figura 35, se presiona la plancha uniformemente hasta el punto necesario

para evitar deslizamiento de la muestra durante la prueba, pero sin que la muestra se aplaste.

Figura 35: Diagrama de ubicación del espécimen de prueba en la máquina.



Fuente: (33)

3. Se establece la velocidad apropiada para la prueba con ayuda de la tabla 20 ($5 \pm 25\%$ mm/min) que es la velocidad más baja para el tipo de muestra I.
4. Se registra la curva de carga vs extensión de la muestra durante la prueba y los datos de carga y extensión en el momento de ruptura.

Cálculos

Con los datos obtenidos en la prueba de tensión se puede calcular el esfuerzo último a tensión y el porcentaje de elongación con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_T = \frac{W}{A}$$

Donde:

σ_T = Esfuerzo último a tensión, (MPa)

W = Carga máxima, N

A = Área de la sección transversal mínima original de la muestra, mm²

$$\%EI = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

Donde:

%EI = porcentaje de elongación

L = Distancia entre marcas de calibración en cualquier momento, mm

L₀ = Distancia original entre marcas de calibración, mm

7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

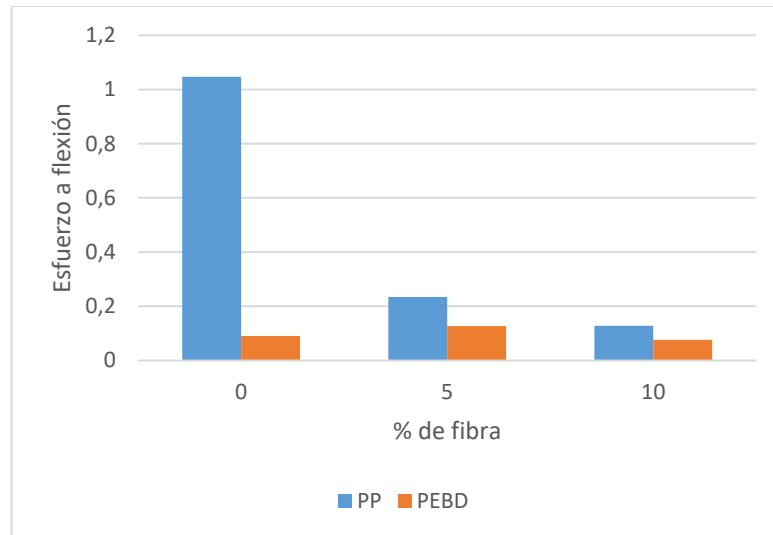
En esta etapa se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y tensión para conocer las propiedades mecánicas de los materiales compuestos anteriormente propuestos conformados por una matriz polimérica reconstituida de polipropileno y polietileno de baja densidad, reforzados con fibras cortas de fique en proporciones de 5% y 10% en peso.

7.4.1. Resultados ensayo de flexión. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de flexión de los materiales compuestos elaborados a partir de polipropileno y polietileno de baja densidad reforzados con fibra natural de fique. Las cifras corresponden al cálculo promedio de los resultados obtenidos de las 5 probetas.

Tabla 21: Resultados ensayo de Flexión

Polímero	Fibra	Fuerza Axial (kN)	Desplazamiento Axial (mm)	Tiempo (seg)	Esfuerzo a flexión (Mpa)	Pendiente de la curva	Módulo de elasticidad (Mpa)
	0	-0,2235	-32,1431	14,7900	1,0476	-	-
PP	5	-0,0504	-28,1185	14,9919	0,2343	-	-
	10	-0,0276	-22,7584	25,9026	0,1282	-	-
	0	-0,0195	-23,1061	10,5105	0,0914	0,3205	0,1408
PEBD	5	-0,0244	-30,6102	15,7251	0,1270	0	-
	10	-0,0164	-16,7279	89,2021	0,0768	0	-

Figura 36: Grafica de esfuerzo a flexión.

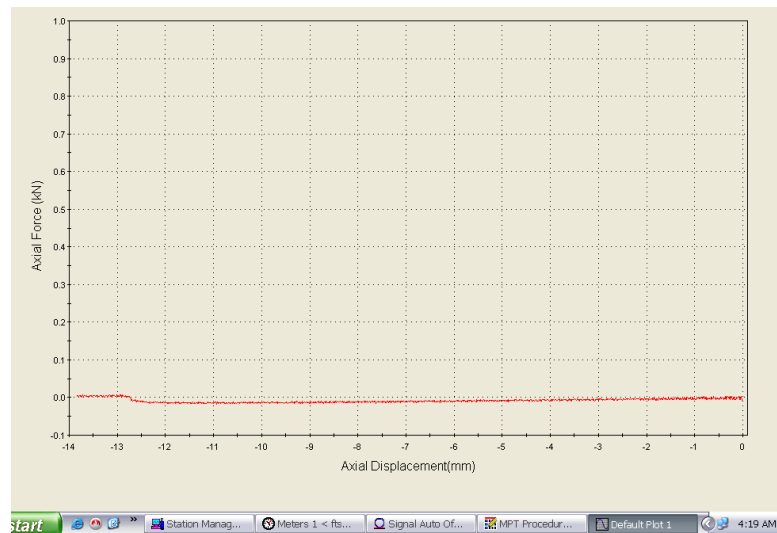


De acuerdo con la figura 36 el tratamiento con 5% de refuerzo con fibra tanto de polipropileno como polietileno de baja densidad presento mejor resistencia a la

flexion, además se puede observar que el polipropileno obtiene mejores propiedades mecánicas a flexión.

De acuerdo con los resultados del esfuerzo a flexión obtenidos tanto de la matriz sin refuerzo, como de los materiales compuestos reforzados con fibra de fique, éstos presentan un comportamiento principalmente frágil. En este ensayo los módulos de elasticidad no pudieron ser calculados ya que las gráficas arrojadas por el programa no presentan pendiente de la curva debido a que las probetas fallaron en un periodo muy corto de tiempo y el programa no alcanzó a registrar datos, como se evidencia en la figura 37 que corresponde a los resultados de una probeta de polietileno de baja densidad y fique al 10%.

Figura 37: Gráfica Fuerza Vs desplazamiento de una probeta.



Fuente: Laboratorio de resistencia de materiales UIS.

En la tabla 20 se realizó una comparación de la resistencia a flexión de los tratamientos reforzados con fibra respecto a la matriz sin refuerzo para identificar el aumento o disminución de las propiedades según cada polímero utilizado para conformar los materiales compuestos.

Tabla 22. Variación del esfuerzo a flexión respecto a las matrices

Polímero	Fibra %	Esfuerzo a flexión (Mpa)	Variación del esfuerzo respecto a la matriz
	0	1,0476	-
PP	5	0,2343	Disminución de un 77,6%
	10	0,1282	Disminución de un 87,8%
	0	0,0914	-
PEBD	5	0,1270	Aumento de un 38,9%
	10	0,0768	Disminución de un 15,9%

7.4.2. Resultados de ensayo tensión. A continuación, en la tabla 23 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de tensión, para cada tratamiento se hallaron los valores promedio de los resultados de las 5 probetas ensayadas.

Tabla 23: Resultados de ensayo a Tensión

Polímero	Fibra	Fuerza Axial (kN)	Desplazamiento Axial (mm)	Tiempo (seg)	Esfuerzo a tensión (MPa)	% Elongación
	0	1,6225	1,5746	10,6635	13,2270	0,7952
PP	5	1,4493	1,4298	10,5234	11,5948	0,7184
	10	1,2577	1,2603	67,4153	9,6602	0,6530
	0	0,5399	1,0075	64,9711	0,3886	0,4820
PEBD	5	0,5585	0,7936	83,3935	0,4480	0,4028
	10	0,7121	0,8343	90,0436	0,5695	0,4213

Como ya se había observado el ensayo de flexión, en esta prueba se confirma que los materiales compuestos conformados tienen un comportamiento frágil. Sin embargo, en la prueba a tensión se obtuvieron más datos que permitieron un mejor análisis de las propiedades mecánicas de los diferentes tratamientos.

En las figuras 38 y 39 se puede observar que no existen diferencias significativas en los valores entre los diferentes tratamientos usando la misma matriz, esto se debe a la deficiencia en la adhesividad entre la matriz polimérica y el refuerzo de la fibra de fique, de manera que las fibras no alcanzan a transferir sus propiedades mecánicas a la matriz obteniendo resultados similares en todos los tratamientos.

Figura 38: Grafica de esfuerzos a tensión

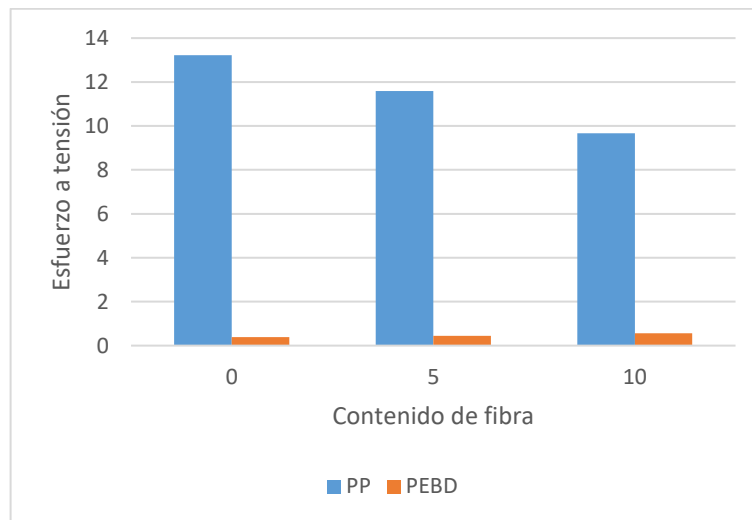
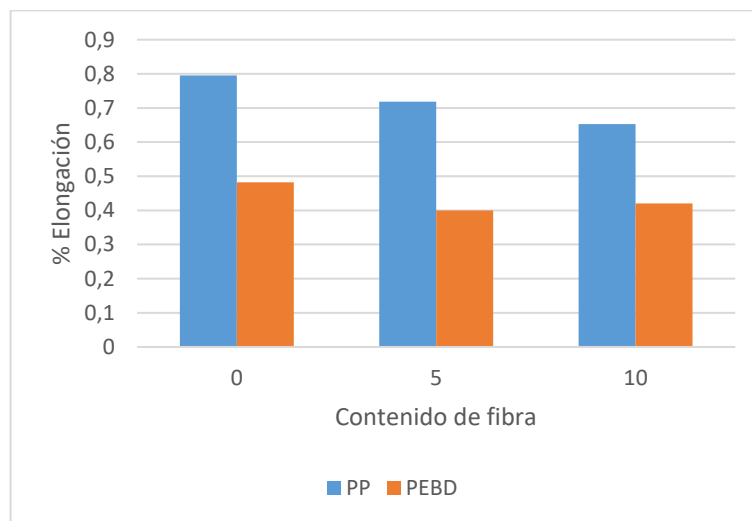


Figura 39: Grafica de porcentaje de elongación



De acuerdo con lo que se observa en las graficas anteriores se puede afirmar que las probetas elaboradas con matriz de polipropileno obtuvieron mejores propiedades mecanicas a tension respecto a las que fueron elaboradas con matriz de polietileno de baja densidad.

En la tabla 24 se realizó una comparación de la resistencia a tensión y porcentaje de elongación de los tratamientos reforzados con fibra respecto a la matriz sin refuerzo para identificar el aumento o disminución de las propiedades según cada polímero utilizado.

Tabla 24: Variación de las propiedades mecánicas a tensión respecto a las matrices.

Polímero	Fibra %	Esfuerzo a tensión (MPa)	Variación del esfuerzo respecto a la matriz	% Elongación	Variación del %elongación respecto a la matriz
PP	0	13,2270	-	0,7952	-
	5	11,5948	Disminución de 12,34%	0,7184	Disminución de 9,66%
	10	9,6602	Disminución de 26,97%	0,6530	Disminución de 17,88%
PEBD	0	0,3886	-	0,4820	-
	5	0,4480	Aumento de 15,28%	0,4028	Disminución de 16,43%
	10	0,5695	Aumento de 46,55%	0,4213	Disminución de 12,59%

En general se puede observar que existe una disminución de las propiedades mecánicas a tensión de los materiales reforzados con fibra respecto a la matriz polimérica sin refuerzo. Diferente del caso del esfuerzo a tensión polietileno, el cual aumentó en función al porcentaje de fibra que se la añadió.

En la tabla 25 se presentan las propiedades mecánicas de algunos materiales desarrollados en estudios anteriores y los resultados obtenidos para el desarrollo de este proyecto con la finalidad de compararlos. Se identificó de forma más clara la disminución significativa en las propiedades mecánicas de los materiales conformados para este proyecto respecto a otros trabajos, pero se observa que los

materiales compuestos con matriz de polipropileno tienen mejores propiedades mecánicas respecto a los que usaron como matriz polietileno de baja densidad.

Tabla 25: Comparación de Propiedades mecánicas de materiales compuestos.

Matriz	Refuerzo	Porcentaje de fibra	Esfuerzo a flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Esfuerzo a tensión (MPa)	% Elongación	Referencia
PP	-	0	38.3	1.19	28.5	5.9	(31)13
	Fique	0	1,047	-	13,22	0,795	Trabajo actual
		5	0,234	-	11,594	0,718	
		10	0,128	-	9,660	0,653	
	Guadua	5	-	-	22,06	-	(29)
		10	-	-	21,42	-	
	Fibra de madera	20	42.9	1.88	26.2	4.2	(31)
PEBD	-	0			8,0 - 10		(29)
	Fique	0	0,091	0,14	0,388	0,482	Trabajo actual
		5	0,127	-	0,448	0,40	
		10	0,076	-	0,567	0,42	
	Guadua	5	-	-	9,03	-	(29)
		10	-	-	7,54	-	
	Aserrín	0	-	-	16,168		(32)
30		-	-	2,9952			
PEAD	Fique	15	28				
		25	30		14		(33)
		35	31		12,5		

7.5. CONCLUSIONES

Se fabricaron y caracterizaron probetas de materiales compuestos de matriz polimérica reconstituida y reforzados con fibra natural de fique en proporción de 5 y 10 % de peso, para la elaboración de las probetas se realizó una distribución manual de la matriz polimérica y el refuerzo para luego aplicar temperatura y así fundir la matriz para hacer que las fibras de adhirieran al polímero.

Inicialmente se analizó la probabilidad de procesar el material compuesto para este trabajo por medio de extrusión o inyección pero aun en la universidad no se cuenta con los equipos necesarios para realizar este trabajo, además en las empresas de fabricación de productos poliméricos de Bucaramanga donde utilizan estos métodos realizan una producción en serie que no permiten un espacio para la elaboración de pruebas además no se arriesgan a la utilización de fibras que pueden afectar los equipos si no se tiene el conocimiento necesario para su manipulación.

El proceso de fabricación tomó aproximadamente 2 meses ya que primero se debían establecer los parámetros como temperatura y tiempo de duración del proceso. Con este método de procesamiento de material no se logró obtener una distribución de fibras homogéneas ya que algunas probetas presentaron porosidades, aglomeraciones de fibras y pequeños espacios entre la matriz y el refuerzo.

A las probetas elaboradas se le realizaron ensayos de flexión y tensión para conocer las propiedades mecánicas de cada tratamiento y así elegir el material que se va a utilizar en el desarrollo del diseño propuesto de las granjas verticales; Después de la realización de los ensayos se observó que debido a la falta de homogeneidad en el compuesto, la adherencia entre la matriz y las fibras de refuerzo fue muy baja, presentando un comportamiento frágil y bajas propiedades mecánicas .

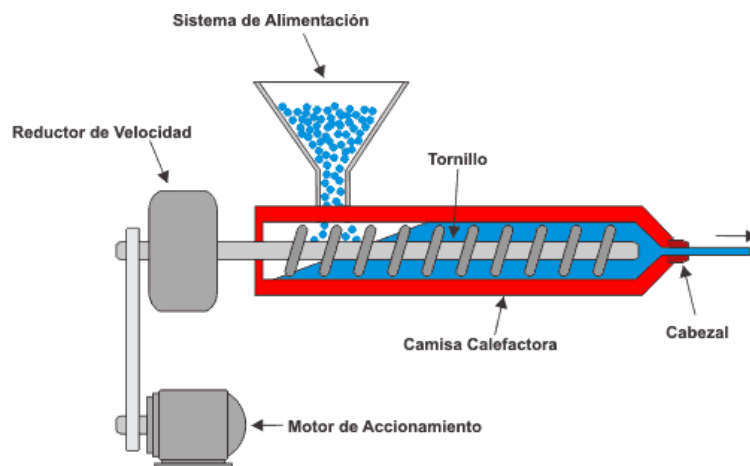
Un aspecto importante por resaltar y mejorar es el método de procesamiento del material, en este caso se le aplicó temperatura al material en un horno de cerámicos, proceso por el que no está mezclando el material y las piezas del polímero

únicamente se sueldan, no se unen las moléculas. Se puede pensar que usando un método que permita realizar una mejor mezcla de la matriz de polipropileno con el refuerzo de la fibra de fique se obtenga un incremento de las propiedades mecánicas el compuesto logrando un mejor desempeño.

Diferentes investigaciones indican que cuando se trata de un material compuesto termoplástico reforzado con fibras, el método más eficiente para obtener una mezcla homogénea es extrusión, proceso por el cual se le aplica temperatura y presión a la mezcla de material compuesto mientras es mezclado por un pistón o un tornillo sinfín que se encarga de transportar el material hacia el cabezal por donde se expulsa y se corta en forma de pellets.

Incluso existen extrusoras que cuentan con válvulas de desgasificación que permiten extraer compuestos volátiles y humedad de las fibras naturales que afectan los resultados del producto (34).

Figura 40: Proceso de extrusión



Fuente: (35)

ETAPA 3

8. FASE DE DISEÑO

8.1. MERCADO OBJETIVO

8.1.1. Demografía de mercado. El proyecto consiste en implementar el cultivo de plantas aromáticas para la producción de aceites esenciales en sectores de la población rural con necesidad de un sustento rentable aprovechando la práctica agropecuaria de la región. El cultivo que se busca producir mediante el sistema de cultivo vertical será a base de la especie *Lippia Origanoides*, más conocido como orégano de monte. Los municipios donde se implementará este sistema de cultivo serán Barbosa, Socoro, Chipatá y Puente Nacional los cuales cuentan con una población de hasta 30.000 habitantes, donde un 50% cuenta con un nivel de educación de básica primaria, 40% secundaria y 10% de los residentes no tienen ningún nivel educativo. Se estima que alrededor del 80% de la población se dedica a la actividad agropecuaria.

Figura 41: Población campesina

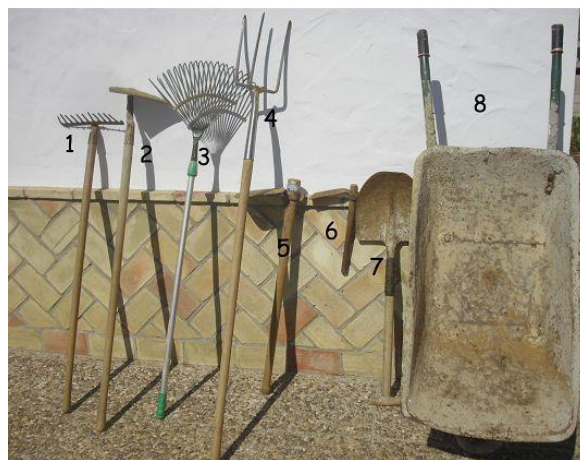


Fuente: (36)

8.1.1.1. Contexto de uso del producto. El producto se encontraría ubicado en espacios abiertos donde estará expuesto a condiciones ambientales propicias para el crecimiento de la planta. En los municipios de Socorro, Barbosa, Puentes Nacionales y Chipatá, cuentan con unas condiciones de bosque húmedo premontano (1.200 a 2.000 msnm) y el bosque seco tropical (900 a 1.200 msnm) que permiten un clima propicio para diferentes especies, cultivos de caña, café, cítricos, frijol, maíz, etc. así como la mayoría de hortalizas, legumbres, plantas aromáticas y medicinales entre otros cultivos (37)

Para la siembra de *lippia origanoides* se adquieren las plantas ya germinadas para cultivarlas, antes de ello se prepara la tierra con maquinaria que corta y transforma los primeros 15 cm de suelo con el fin de aflojar, airear y mezclar para facilitar el paso de agua, la mineralización de nutrientes, la reducción de plagas y malezas en superficie de la tierra. Al plantar se forman surcos a una distancia de 70 cm aproximadamente y las plantas se distancian a mínimo 40 cm. Para la labranza y siembra se utilizan herramientas como: Rastrillos, azadones, pala y rastrillo (Figura 42)

Figura 42: Herramientas de siembra



Fuente: (38)

1,3. Rastrillo: es utilizado para limpiar la tierra de restos vegetales y piedras, y para darle uniformidad al terreno después del arado.

2,5 y 6. Azadón: Utilizado para arar la tierra: airear, revolver y formar los surcos.

4.Laya: Sirve para romper el terreno y permitirle ser trabajado

7.Pala: es utilizada para hacer los hoyos de siembra y cargar diferentes materiales a la carretilla.

8.- Carretilla de mano: para el transporte de tierras, compost, y cargas pesadas.

8.1.1.2. Partes interesadas.

Tabla 26: CENIVAM como Parte Interesada

Parte representativa en el proyecto	Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de especies vegetales aromáticas y medicinales tropicales – CENIVAM
Descripción	Se encarga de generar el conocimiento científico-técnico que sirva de soporte al desarrollo de la cadena de valor de las plantas medicinales y los aceites esenciales en el país, para producir bienes de valor agregado, teniendo como marco de referencia la responsabilidad con el medio ambiente y el interés continuo por alcanzar los máximos estándares de calidad respaldados en el avance tecnológico y el talento humano.
Nivel de experticia	Es uno de los Centros de Investigación de Excelencia, articulados y financiados por COLCIENCIAS, alrededor de programas de trabajo comunes en diferentes áreas científicas y tecnológicas estratégicas para el país.
Responsabilidades	Impulsar el desarrollo competitivo y sostenible de la agroindustria de esencias, extractos y derivados naturales en Colombia, transfiriendo los nuevos conocimientos a las comunidades campesinas con las cuales se trabaja en el presente proyecto.

Fuente de información: (39)

8.1.1.3. Usuario objetivo

Tabla 27: Población campesina como usuario objetivo

Usuario representativo del proyecto	Población campesina
Descripción	<p>Los hogares de la economía campesina constituyen el 12% de los hogares de Colombia; se los cuales el 90% se dedica a actividades agrícolas, cosechando la mitad de área sembrada en cultivos al mismo tiempo que tienen una considerable parte de ganadería - entre 12 y 40%.</p> <p>Sin embargo, la mayoría de los hogares rurales (65%) viven en condiciones de pobreza o en pobreza extrema (33%). Además, registran una alta informalidad en la posesión de sus predios y es limitado el acceso a fuentes de crédito y tecnología. (40)</p>
Nivel de experticia	<p>Los estudios muestran que las zonas rurales de Colombia presentan altas tasas de trabajo informal, falta de competitividad, carencia de servicios públicos y un muy bajo logro educativo (41). En lo que refiere al área de trabajo del agro, la mayoría de los campesinos presentan años de atraso en el manejo de la tierra, haciendo uso de machete, el azadón, el recatón, etc. (42) Sin poder adquisitivo o conocimientos necesarios para impulsar el desarrollo y productividad de sus cultivos.</p>
Criterio de éxito	<p>El usuario define el éxito del producto en términos de eficiencia por la productividad del cultivo en relación al esfuerzo físico y uso de recursos. A partir de este éxito, será medido por cantidad de masa vegetal producida por el área dedicada para el cultivo, y que se verá reflejado en la entrada de ingresos económicos</p>

8.2. NECESIDADES DEL USUARIO

Se recopilaron datos a partir de entrevistas grabadas realizadas al usuario objetivo (Figura 43) y la parte interesada (Figura 44) descritos anteriormente, en el cual se habla principalmente de las necesidades del cultivo con el que se trabajará. En una segunda parte de la entrevista realizada al usuario objetivo, se observa el cultivo vertical desarrollado anteriormente para plantas aromáticas y que será analizada en el siguiente punto, con el fin de descubrir las necesidades que fueron solucionadas.

Figura 43: Usuario del cultivo



Figura 44: Miembro de la parte interesada- CENIVAM



La información recopilada fue traducida por medio de enunciados y organizada en la (tabla 28) otorgándole un nivel de importancia de 1 a 3, siendo 1 el nivel máximo de importancia y 3 el valor mínimo.

Tabla 28: Necesidades del cliente

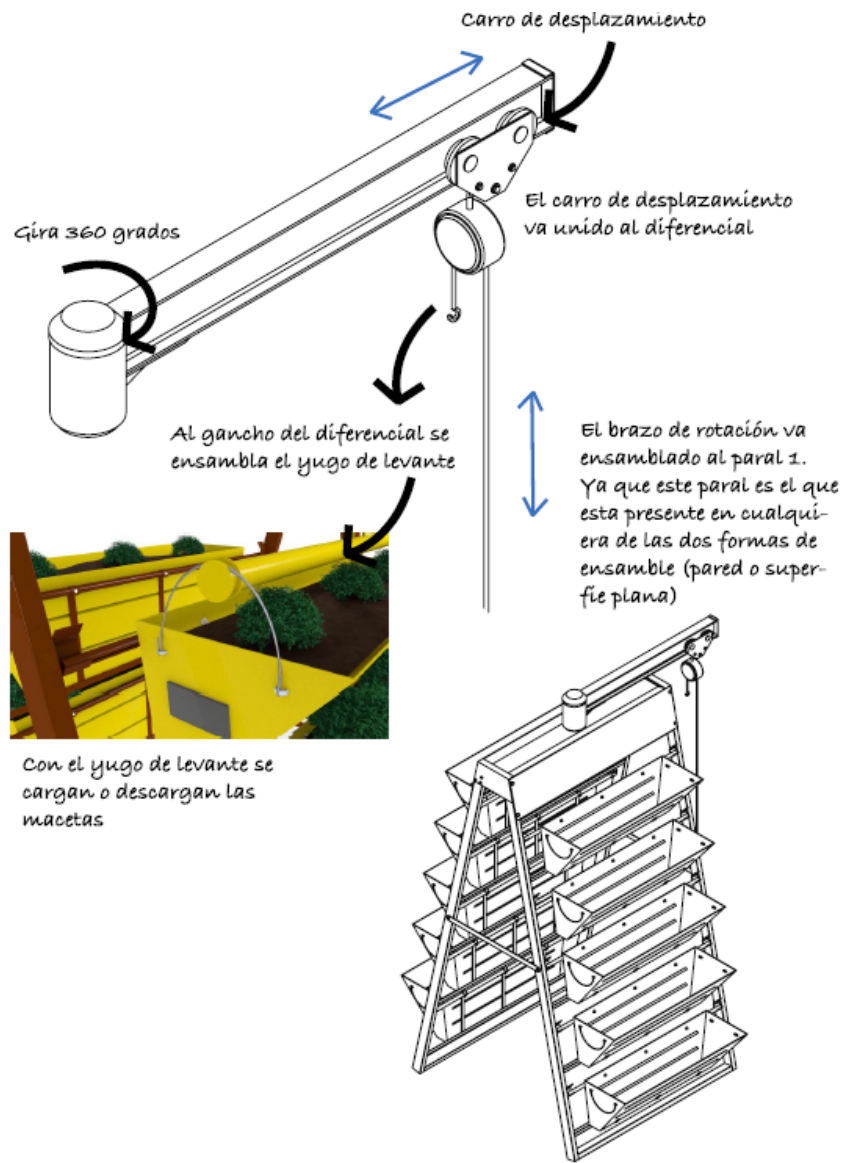
N°	Necesidad	Imp.
1	Estructura Maximizar el espacio de cultivo	1
2	Estructura Permite el crecimiento libre de las plantas	1
3	Sistema de riego Permite el riego del cultivo	3
4	Estructura Aprovechamiento de la luz solar	1
5	Estructura Resistencia a esfuerzos mecánicos	1
6	Estructura Reduce el esfuerzo que el usuario debe hacer para alcanzar o manipular las plantas	2
7	Estructura Inspira confianza	2
8	Estructura Es seguro al usar	2
9	Estructura Lenguaje de uso claro	2
10	Estructura Fácil transporte	3
11	Estructura Es ligera	1
12	Estructura Permanece rígida a la hora de manipulación del usuario	3
13	Estructura Fácil de instalar	2
14	Estructura Aprovecha las aguas lluvia	1
15	Estructura Permite el reemplazo de las plantas muertas	1
16	Estructura Fácil mantenimiento	2
17	Estructura larga vida de utilidad	1
18	Estructura Instalación con herramientas básicas	1
19	Sistema Permite la fácil reposición de piezas dañadas	2
20	Estructura Sus partes se producen de forma industrial	2
21	Resistente a las condiciones ambientales de la zona	
22	Es accesible para gente de población rural	

8.3. ALTERNATIVAS Y COMPETENCIA

8.3.1. Alternativa inicial. Se visitó El Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de especies vegetales aromáticas y medicinales tropicales – CENIVAM con el fin de indagar sobre las necesidades que presentan para la implementación de un sistema de cultivos verticales. Con anterioridad se realizó un proyecto como tesis de pregrado con dicho fin llamado “Granja vertical piloto para el cultivo de plantas aromáticas en el centro de investigaciones CENIVAM. Diseño y fabricación” de María Carolina Peñuela Vargas, egresada de la escuela de Diseño Industrial UIS, en la cual planteaba el diseño y fabricación de una granja vertical piloto que optimizara el espacio utilizado para el cultivo de las plantas aromáticas y los procesos asociados al cultivo de las mismas.

El sistema se compone por dos elementos, una estructura en forma de A realizada en perfil de acero de 3m altura por 1.5m x 1.5m de base, con una grúa en la parte superior y una serie de masetas de 1.2 m de ancho y 0.4 m altura, realizadas en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio, y cuentan con un agarre en sus extremos para ser movilizadas por medio de la grúa como lo muestra la siguiente figura. Este sistema logra cosechar 50% más de plantas sobre el área que ocupa el sistema (Figura 45).

Figura 45: Mecanismo para cargar las masetas.



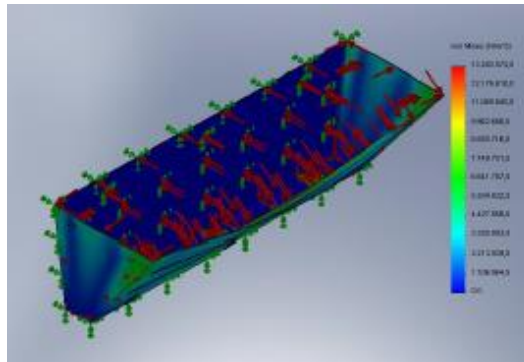
Fuente: (43)

8.3.2. Estado actual del producto. Al visitar las instalaciones del CENIVAM donde se encuentra ubicado el cultivo vertical, se revisó el estado actual en el que se encuentra y se entrevistó al jardinero encargado de manipular el sistema y se recopiló la siguiente información.

Estado físico

- El mecanismo no tiene posibilidad de movimiento a causa del desuso y falta de mantenimiento.
- El mecanismo de levante de las macetas está incompleto.
- Las macetas se han deformado por el peso de su contenido, así como lo muestra el ensayo a tensión realizado por Peñuela mediante el software de SolidWorks. (Figura 46)

Figura 46: Estudio de tensiones



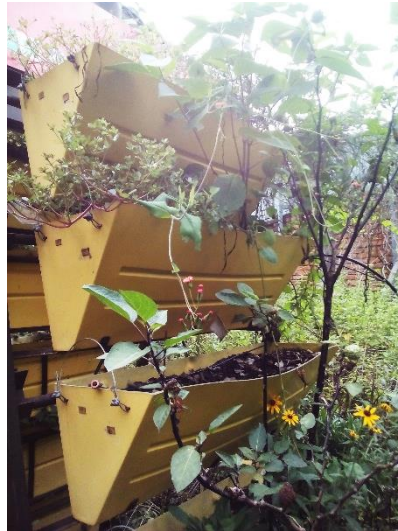
Fuente: (43)

8.3.3. Conclusiones. La relación producto-usuario no se efectuó en la manera en que fue diseñado, presentando dificultades en la manipulación del sistema en los siguientes aspectos:

- Para movilizar cada contenedor era esencial el uso de la grúa, la cual no cuenta con un lenguaje de uso indicado y debido a la altura de la estructura no es posible enganchar el yugo de levante a las macetas ubicadas por encima de la altura del usuario para poder bajarlas de la estructura.
- El sistema de riego cuenta con varios puntos a lo largo de cada maceta, cada punto tiene una válvula que permite el paso del agua, pero la presión del caudal no es uniforme en todos los extremos causando el desuso de este sistema y pasando a ser tarea del usuario regar manualmente todo el cultivo.

- El emplazamiento del sistema no permite el paso de sol uniforme sobre el cultivo, afectando la calidad del mismo y del producto final.
- Se han cultivado plantas que exceden las dimensiones de la granja vertical que no permiten el libre desarrollo de las demás plantas (Figura 47)

Figura 47: Estado actual de la granja vertical.



8.4. ESTADO DEL ARTE

8.4.1. Stacking planters.

Figura 48: Ganja vertical Stacking planters



Fuente: (44)

Es un sistema de cultivo para plantas como fresas, hierbas, tomates, lechuga, brócoli, pepinos, espinacas, etc. que está basado en un principio de apilamiento de sus contenedores para ahorrar espacio de transporte y armado (Figura 49). Cada piso consta de tres contenedores los cuales tienen su propio depósito de agua (Figura 50) para mantener la humedad y los nutrientes que las plantas necesitan. Está hecho de polipropileno con un fuerte estabilizador de UV para evitar degradación del material y afectación de la superficie.

Figura 49: Sistema de macetas apilables



Fuente: (44)

Figura 50: Sistema de conservación de humedad



Fuente: (45)

Ventajas:

- La superficie de crecimiento de las plantas le da suficiente espacio a la cosecha para que crezcan libremente.
- El sistema permite la recolección de agua lluvia que será utilizada posteriormente.
- Posee un sistema de riego de fácil instalación.
- Cuenta con una estructura que permite la rotación del cultivo.

Desventajas:

- El diseño es planteado para cultivos de poco crecimiento como lechuga, brócoli, fresas y espinaca entre otros.

- Debido a su sistema de riego que se encuentra en la parte superior y va conectado entre las torres no es una estructura que pueda ser dinámica y cambiar de lugar fácilmente.

8.4.2. Verticrop.

Figura 51: Invernadero Verticrop



Fuente: (46)

Es un sistema de agricultura vertical hidropónica totalmente automatizado, cada estructura ocupa un espacio de 15 x 25 metros, tiene 120 bastidores con 24 bandejas de cultivo en cada piso. Cada bastidor se mueve alrededor del invernadero en un entorno operado por computadora que controla la temperatura ambiente, la iluminación, la fertilización, el riego y la recaptura del agua que se utiliza.

Ventajas:

- Cuenta con un sistema de transporte aéreo que permite que las bandejas sean acercadas al usuario, lo que facilita su cultivo gracias al gran tamaño del invernadero.
- El entorno controlado permite proporcionar la máxima luz solar y suministrar los nutrientes correctos para cada planta.

- Cuenta con un sistema de luz ultravioleta y filtros excluyen la necesidad de herbicidas y pesticidas.
- El agua de riego es recapturada, reciclada y purificada, utilizando para ello 90% menos de agua que la agricultura de campo tradicional.

Desventajas:

- La instalación, funcionamiento y mantenimiento del cultivo tienen un gran costo económico.
- Está dirigido a la producción a gran escala de materia vegetal, pero para su funcionamiento es necesario contar con un espacio extenso tanto para el cultivo como para sus equipos de monitoreo.

8.4.3. Green Tower System.

Figura 52: Sistema de granja vertical Green Tower



Fuente: (47)

GreenTower está diseñado para colocar las plantas verticalmente en bandejas para maximizar el espacio, duplicando o triplicando su rendimiento en el espacio. Fue

desarrollado en colaboración con La Universidad del Estado de Pennsylvania, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Ventajas:

- Gracias a que el sistema va girando a lo largo del día, asegura que todas las plantas reciban iluminación uniforme.

Desventajas:

- Las dimensiones de los contenedores de las plantas son de 12,7 cm x 50,8 cm por lo tanto su diseño está dirigido al cultivo de plantas de poco tamaño.

8.4.4. Hydroponic Tube de NaturalHydro.

Figura 53: Cultivo hidropónico NaturalHydro



Fuente: (48)

Es un cultivo hidropónico cuyo diseño está compuesto por tubos de PVC de calidad alimentaria que conforman estructuras dinámicas para el crecimiento del espacio agrícola, puede ser adecuado para grandes cultivos a largo plazo, tales como tomates, pimientos, pepinos e incluso rosas.

Ventajas:

- El diseño de su estructura presenta facilidad para ensamblar y transportar.

- Las plagas y enfermedades son más fáciles de controlar que en el suelo debido a la fácil movilidad del recipiente.
- Su diseño permite configurar su estructura de diferentes formas, dependiendo del espacio y el tipo de cultivo.

Desventajas:

- Es un cultivo diseñado para plantas de poco tamaño y de raíz pequeña ya que el diámetro del tubo es de 7,5 cm y deja un espacio de 15 cm aproximadamente entre plantas.

8.4.5. Tower Garden.

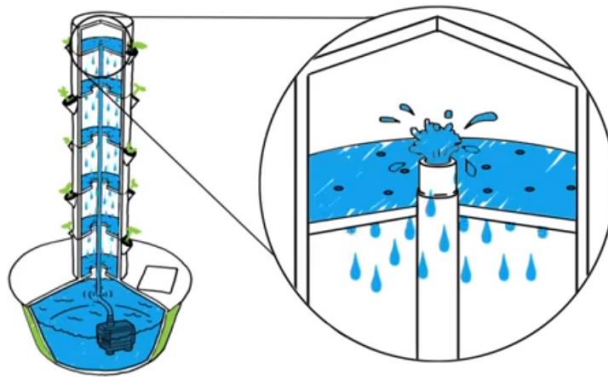
Figura 54: Tower Garden en invernadero



Fuente: (49)

Tower Garden es un sistema de cultivo vertical que utiliza solamente un área de 1 metro cuadrado para cultivar hasta 20 plantas. Su diseño incluye la bomba que se encarga de distribuir el agua desde la base de la torre hasta la parte superior para luego caer por gravedad por lo largo de la torre, cuenta con un temporizador que garantiza un riego constante (Figura 55). el proceso de cultivar plantas en un entorno aéreo utilizando solo agua y nutrientes contribuye a un crecimiento rápido de las plantas.

Figura 55: Sistema de riego aeropónico Tower Garden



Fuente: (50)

Ventajas:

- Además de un producto, Tower Garden ofrece una experiencia para cada etapa del cultivo, brindando atención y recursos integrales a sus usuarios.
- Su sistema aeropónico puede reducir un 98% el consumo de agua comparado con un cultivo tradicional.
- Cuenta con un fácil ensamble llegando a ser en un tiempo de 20 a 25 minutos aproximadamente.

Desventajas:

- La instalación, funcionamiento y mantenimiento del cultivo tienen un alto costo económico.

8.4.6. Conclusiones. Se encontró que los cultivos verticales se encuentran diseñados en su mayoría para plantas de tamaño pequeño, diferente a la *Lippia origanoides* que es una planta de mayor tamaño, por consecuencia, actualmente no se encuentra en el mercado un producto que se acomode a las necesidades del cultivo en cuestión.

8.5. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

8.5.1. Perspectiva del Producto. El producto funciona como un sistema conformado por diferentes subsistemas y partes, los cuales se relacionan entre si y uno sin el otro no permiten que el sistema funcione correctamente (Figura 56).

Suprasistema: Es el principio que integra a todos los sistemas: Granja vertical

Subsistema: Es un conjunto integrado por partes interrelacionados que se encuentran funcionalmente dentro de un sistema mayor: Estructura, contenedor de plantas y sistema de riego.

Sistema: Es un conjunto de elementos que funcionando juntos logran un objetivo común: Elementos que componen cada subsistema.

Figura 56: Mapa de sistemas y subsistemas



8.5.2. Capacidades. El producto cuenta con un número de funciones básicas que le permite producir un cultivo eficiente, dichas funciones se encuentran relacionadas por operaciones realizadas por el usuario.

Tabla 29: Capacidades del producto

FUNCIONES	OPERACIONES
Contener las plantas y tierra	Preparación del terreno
Riego de las plantas	Instalación del producto
Facilitar el alcance de las plantas	Siembra de la planta
	Verter agua en el contenedor del sistema de riego
	Activar el sistema de riego
	Recolección de la cosecha

8.5.3. Características del producto. A partir de las necesidades del usuario y las capacidades del producto, se establece un conjunto de requerimientos que explican en detalle lo que el producto debe tener, los cuales se clasifican en requerimientos de función, uso, desempeño, soporte y restricciones según las tablas 30-33.

Tabla 30: Requerimientos de función

REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN		
REQUERIMIENTO	DETERMINANTE	MÉTRICA
1. Forma	Permite la entrada de luz solar a todas las plantas	Mínimo 6h diarias
2. Espacio	Permite el libre crecimiento de la planta	Altura: 80cm. Ancho, largo, profundo: 20 cm
3. Contener	Contiene y soporta el peso de cada planta	Mínimo 9 Kg por planta
4. Espacio del cultivo	Optimiza el espacio disponible para el cultivo permitiendo el crecimiento de un mayor número de plantas en comparación al cultivo horizontal	23 plantas por metro cuadrado
5. Riego	Suministra la cantidad de líquido adecuado para el desarrollo de la planta	500ml cada 48 horas

Tabla 31: Requerimientos de uso

REQUERIMIENTOS DE USO		
6. Ergonomía	Permite al usuario el acceso a cada una de las plantas para realizar la tarea de corte y recolección del material vegetal	Alcance máximo vertical (213 cm). Alcance brazo frontal (76,9 cm)
7. Seguridad	Sus piezas pueden tener aristas con un ángulo de salida agudo	90° a 180° uso de ángulos obtusos o redondeo
8. Transporte	Piezas apilables entre sí para optimizar el espacio de transporte	Módulos
9. Instalación	Las operaciones a seguir para la instalación del sistema de cultivo son entendidos y acogidos por el usuario	Agarres, ensambles, e iconografía cotidianos
10.	El peso cada una de las piezas no deben superar el máximo soportable por un hombre adulto	<10 Kg OWAS
11. Lenguaje del producto	Los elementos del producto y el sistema de cultivo indican al usuario las tareas a seguir para el mantenimiento de las plantas	Practicidad: escala de satisfacción.

Tabla 32: Requerimientos de desempeño

REQUERIMIENTOS DE DESEMPEÑO		
12.	Hace uso de estrategias para aprovechar la mayor cantidad de luz solar posible	Movimiento del sol. Distancia entre estructuras. Posición
13. Riego	Produce la menor cantidad de residuo de agua durante el riego	Sistema de riego
14.	Control de los parámetros de riego (tiempo de distribución de los 500 ml)	-----
15. Vida útil	Los materiales utilizados deben resistir la intemperie y esfuerzos mecánicos	Propiedades físicas y químicas

Tabla 33: Requerimientos de soporte

REQUERIMIENTOS DE SOPORTE		
16.	Disponibilidad de repuestos a piezas susceptibles a fallas	Piezas prefabricadas
17. Mantenimiento	Permite el reemplazo de piezas por deterioro	Estructura desarmable
18.	El sistema de riego debe ser perfectamente accesible y reemplazable en caso de fallo sin afectar al jardín	

8.6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Mediante la generación de conceptos se dio respuesta a las especificaciones encontradas haciendo uso de bosquejos, modelos tridimensionales y maquetas. En primer lugar, se responde a los requerimientos funcionales (Figura 57) dándoles solución mediante la forma general del sistema como lo son la estructura y los contenedores de las plantas; luego de eso se usó árboles de clasificación y tablas de combinación para organizar y seleccionar los conceptos que cumplan con dichos requerimientos.

Figura 57: Requerimientos principales



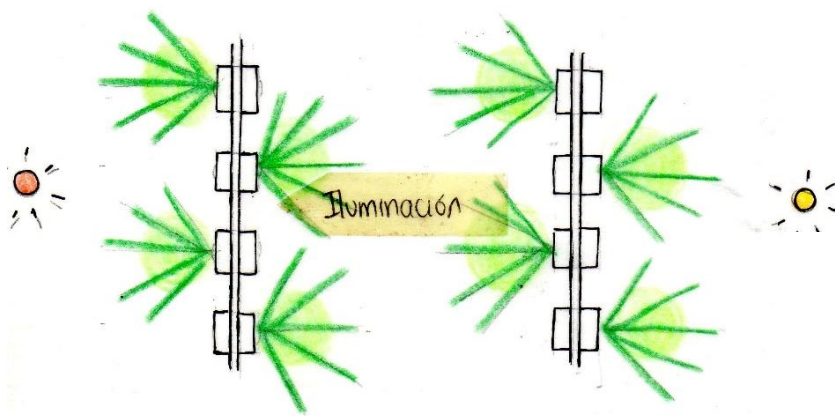
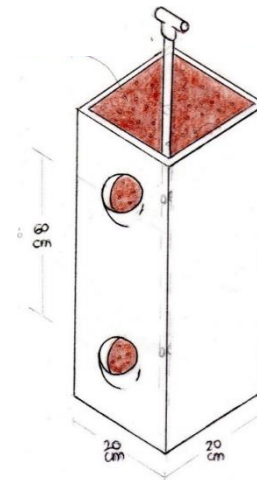
Tabla 34: Características del cultivo tradicional de lippia organoides

CULTIVO TRADICIONAL	Configuración horizontal
Número de plantas por hectárea	16,000
Cantidad de tierra por planta	Indefinido
Espacio vertical entre plantas	-
Espacio horizontal entre plantas	40-60 cm
Espacio entre surcos	100 cm

8.6.1. Alternativas

Tabla 35: Especificaciones Alternativa 1

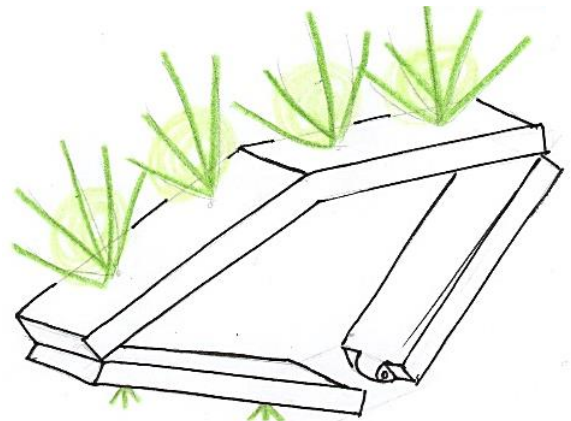
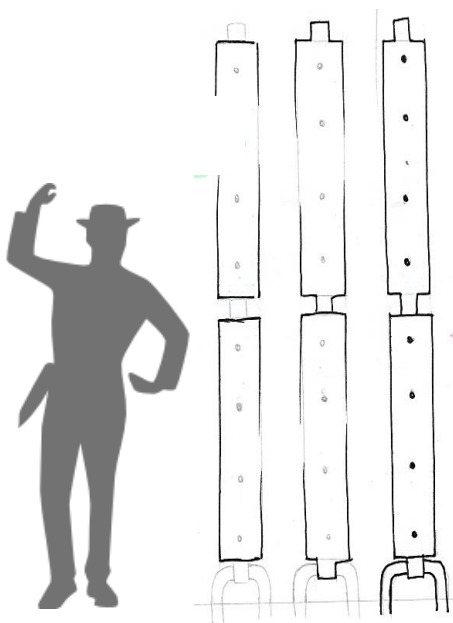
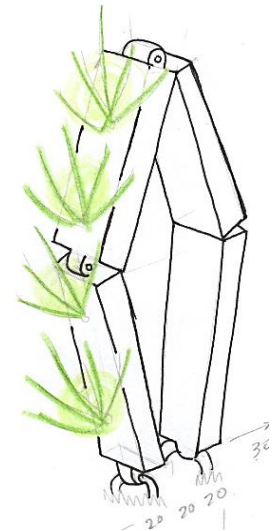
ALTERNATIVA 1	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	48,000
Cantidad de tierra por contenedor	20 Kg
Espacio vertical entre plantas	60 cm
Espacio horizontal entre plantas	60 cm
Espacio entre surcos	250 cm
Altura	200 cm
Altura máxima de alcance	180 cm



Este concepto consta de módulos verticales con capacidad de 6 plantas cada uno y que se encuentran suspendidas sobre una estructura por la cual se sostiene el sistema de riego.

Tabla 36: Especificaciones Alternativa 2

ALTERNATIVA 2	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	24,000
Cantidad de tierra por contenedor	25 Kg
Espacio vertical entre plantas	60cm
Espacio horizontal entre plantas	100cm
Espacio entre surcos	500 cm
Altura	400 cm
Altura máxima de alcance	200 cm

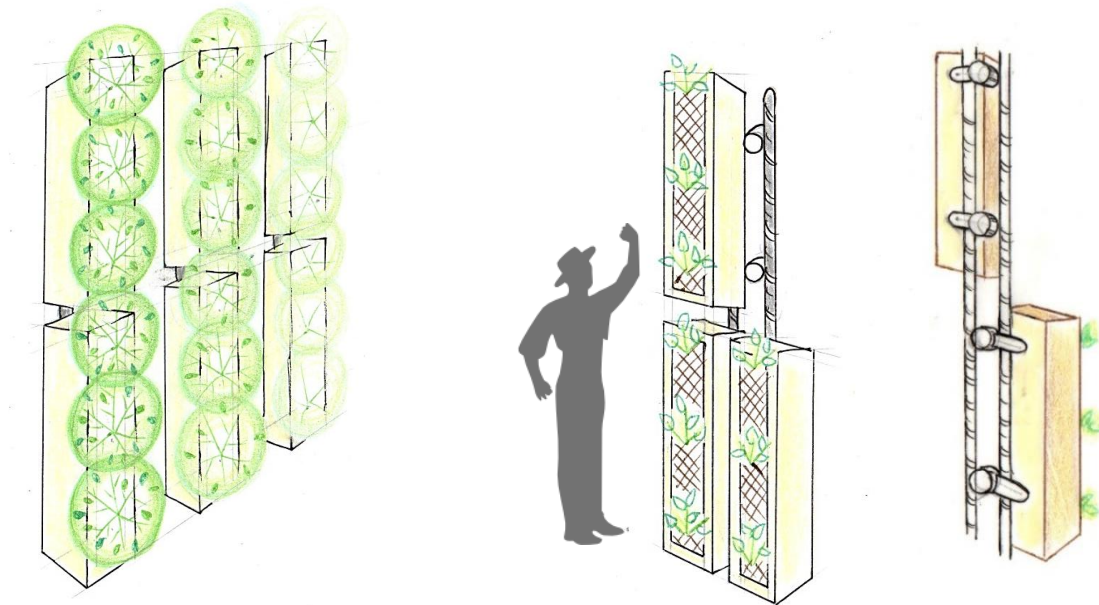


La alternativa actual está compuesta por cuatro módulos ensamblados entre sí para conformar una columna plegadiza, de manera que el usuario tiene acceso a las

plantas bajas cuando la columna está erguida y a las plantas altas cuando la columna está plegada.

Tabla 37: Especificaciones Alternativa 3

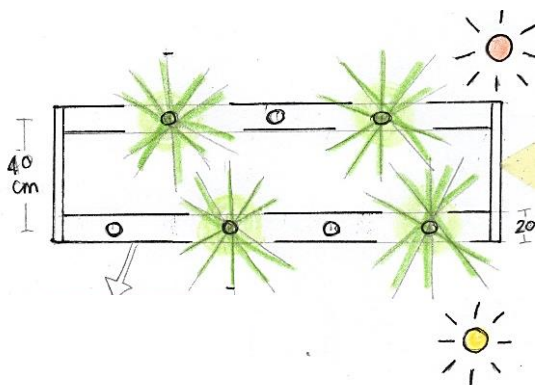
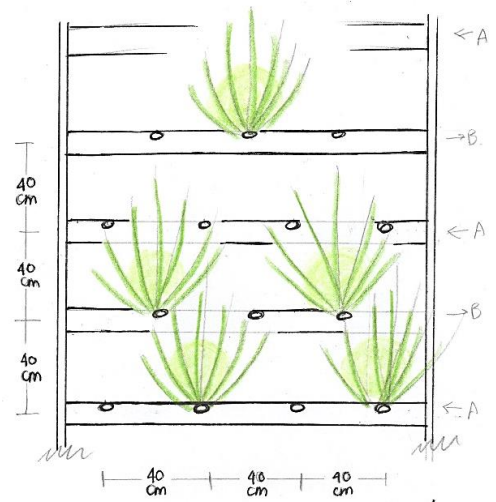
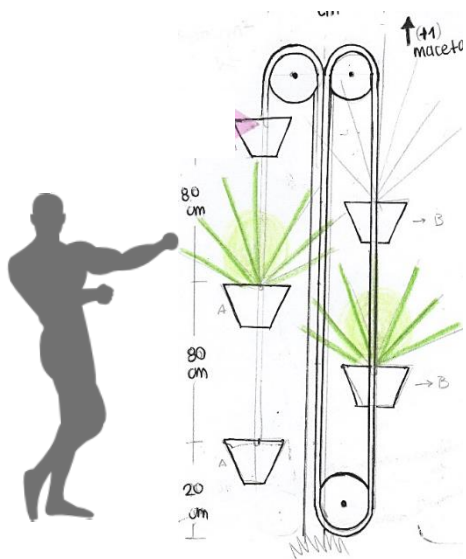
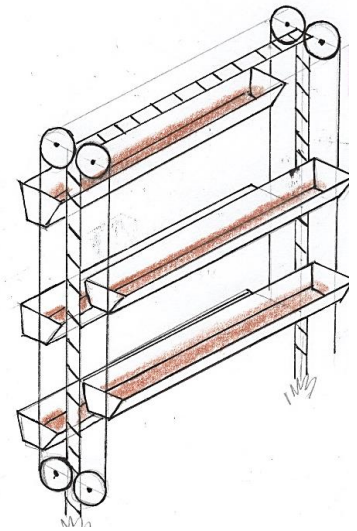
ALTERNATIVA 3	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	60,000
Cantidad de tierra por contenedor	17 Kg
Espacio vertical entre plantas	60cm
Espacio horizontal entre plantas	70cm
Espacio entre surcos	425 cm
Altura	340 cm
Altura máxima de alcance	160 cm



Este concepto es en forma de columna conformada por dos módulos cuya posición inicial es una al lado de la otra para que el usuario realice las tareas de cultivo, mantenimiento y cosecha de la planta. Una vez se cultivan las plantas, uno de los módulos es dispuesto encima del otro por medio de mecanismos, de manera tal que las plantas tendrán el espacio necesario para su crecimiento.

Tabla 38: Especificaciones Alternativa 4

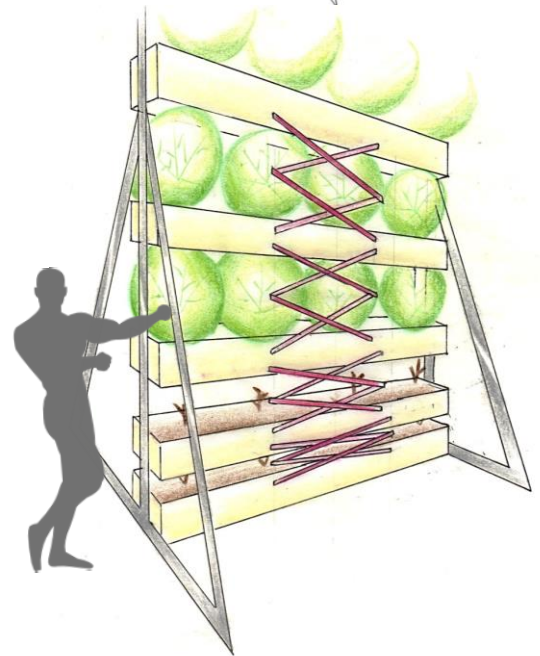
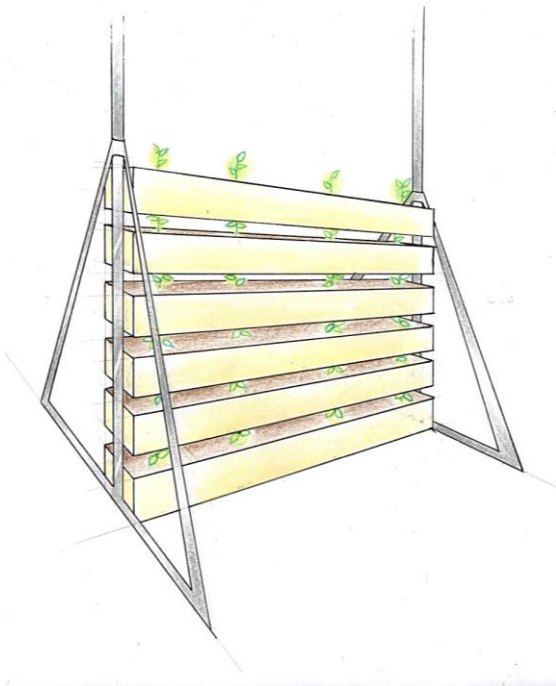
ALTERNATIVA 4	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	21,600
Cantidad de tierra por contenedor	24 Kg
Espacio vertical entre plantas	80cm
Espacio horizontal entre plantas	40cm
Espacio entre surcos	300 cm
Altura	240 cm
Altura máxima de alcance	160 cm



Este concepto consta de contenedores horizontales que se encuentran intercalados vertical y horizontalmente para permitir el crecimiento libre de las plantas. Gracias al sistema de poleas, el usuario tiene acceso a las plantas

Tabla 39: Especificaciones Alternativa 5

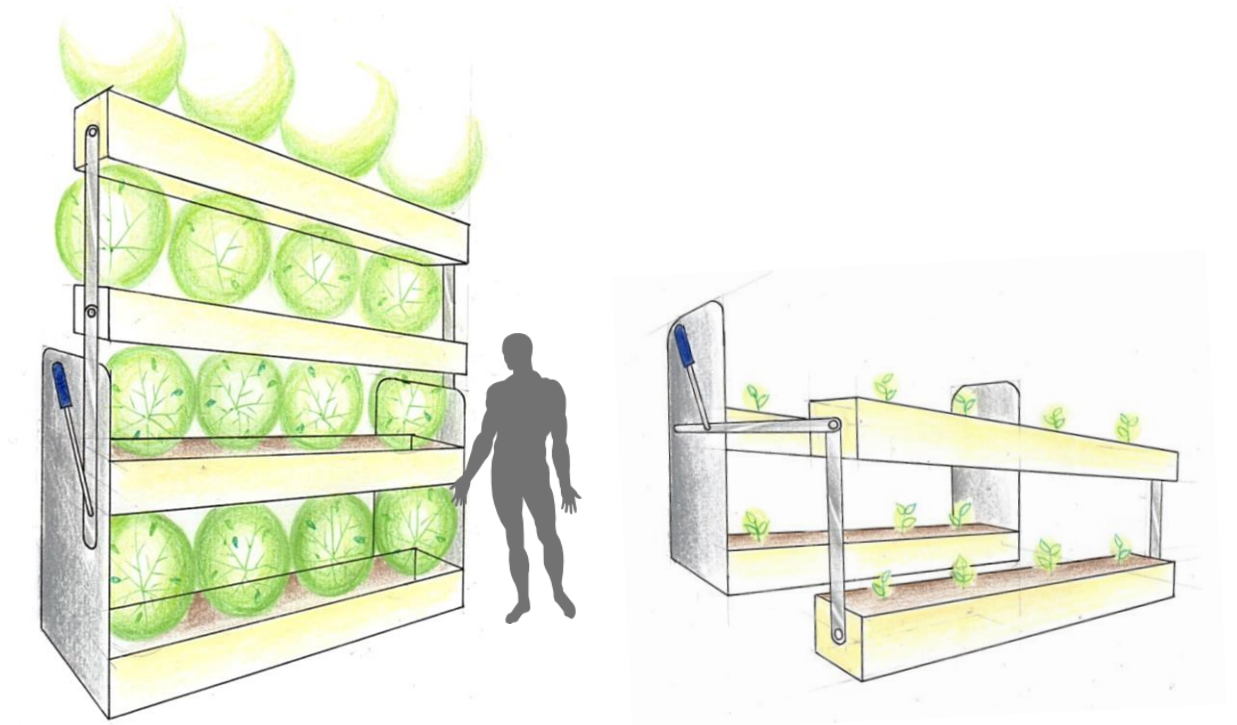
ALTERNATIVA 5	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	24,000
Cantidad de tierra por contenedor	24 Kg
Espacio vertical entre plantas	80cm
Espacio horizontal entre plantas	40cm
Espacio entre surcos	525 cm
Altura	420 cm
Altura máxima de alcance	180 cm



Esta alternativa consta de contenedores horizontales sostenidos en una estructura metálica y que se encuentran conectadas por mecanismos independientes que permiten disminuir y aumentar el espacio entre contenedores tanto para permitir el acceso a las plantas como para optimizar el espacio vertical.

Tabla 40: Especificaciones Alternativa 6

ALTERNATIVA 6	Configuración vertical
Número de plantas por hectárea	20,000
Cantidad de tierra por contenedor	24 Kg
Espacio vertical entre plantas	80cm
Espacio horizontal entre plantas	40cm
Espacio entre surcos	400 cm
Altura	320 cm
Altura máxima de alcance	120 cm



La presente alternativa está compuesta por cuatro contenedores horizontales con suficiente espacio entre ellos para el crecimiento de las plantas. Los dos contenedores ubicados en la parte inferior del sistema se encuentran fijos, mientras que los dos superiores son móviles y se pueden acercar al usuario mediante un sistema articulado.

8.6.2. Selección del concepto. Se evaluaron conceptos con respecto a los requerimientos de diseño, comparando las ventajas y desventajas de cada concepto, y seleccionando uno o más conceptos para su posterior investigación o desarrollo. Para la elección de los conceptos más adecuados se realizó una matriz de filtrado de los conceptos donde se introducen los requerimientos de función del diseño, para evaluar los conceptos se tuvieron como referencia las métricas establecidas en los requerimientos y mediante una escala de evaluación relativa donde (+) equivale a “mejor que”, (0) equivale a “igual que” y (-) equivale a “peor que” se valora cada alternativa, seguidamente se ordena para facilitar el consenso y crear un registro del proceso de toma de decisiones.

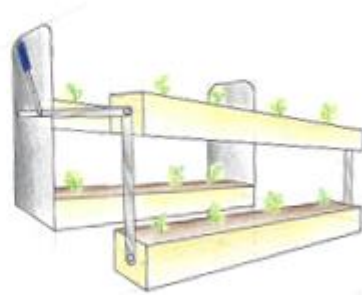
Tabla 41: Matriz de selección de concepto

	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6
El diseño permite el paso de la luz a través de la estructura	-	-	-	-	0	0
El diseño posibilita el libre crecimiento de la planta 80x40x40	0	0	0	0	0	0
El contenedor tiene una capacidad mínima de 10kg por planta	0	0	0	+	0	+
El diseño contiene al menos 16 plantas por m cuadrado	+	-	+	-	+	+
Altura máxima de la planta para su recolección 213 cm	+	+	+	+	+	+
Sumatoria	1	-1	1	0	2	3
Puesto	4	7	3	6	2	1
Continúa	Revisar	NO	Revisar	NO	SÍ	SÍ

Figura 58: Conceptos seleccionados (puesto 1 y 2)



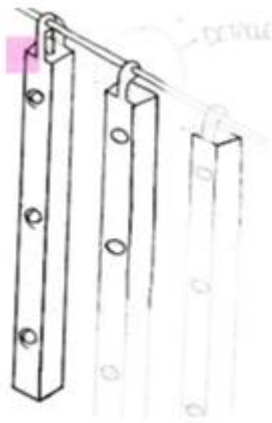
Alternativa 5



Alternativa 6

Estas dos alternativas manejan el mismo principio básico de disposición de las plantas en contenedores horizontales, diferente de esto, la estructura que los sostiene y el mecanismo que las acciona difiere en ambos casos, por lo cual se pondrá en evaluación dichos aspectos.

Figura 59: Conceptos para revisión (puesto 3 y 4)



Alternativa 1

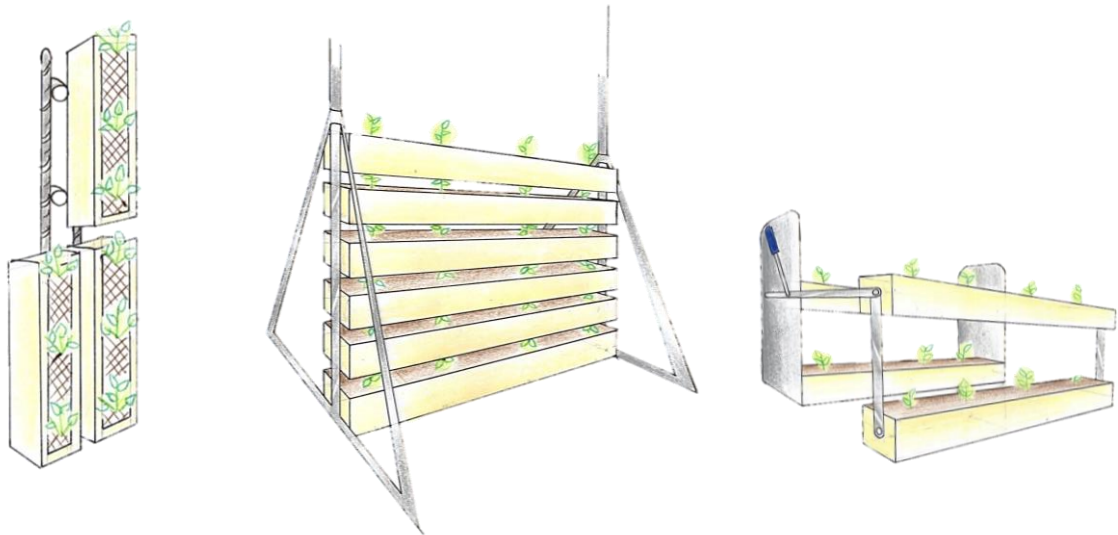


Alternativa 3

El principio de estas alternativas es la disposición vertical de las plantas, pero gracias al mecanismo de acción de la alternativa 3, ésta presenta mayor optimización del espacio de la alternativa 1. Por otro lado, los costos del cultivo se podrían ver afectados por la complejidad de la alternativa 3.

8.6.3. Focus group. Para contribuir al proceso de selección, se realizó un Focus group con las partes interesadas en el producto con el fin de hacerlos parte del proceso de diseño y poner en discusión el cumplimiento de los requerimientos. Para ello se presentaron tres de las alternativas seleccionadas con diferentes tipos de configuración para conocer la opinión de las partes interesadas y su preferencia por alguno de los conceptos

Figura 60: Alternativas 1, 2 y 3 respectivamente.



El modelo clásico de focus group implica un grupo de entre seis y doce participantes, sentados en círculo, en torno a una mesa. Los grupos de discusión, además, cuentan con la presencia de un moderador, encargado de guiar la interacción del grupo e ir cumplimentando los pasos previstos para la indagación. Se busca que las preguntas sean respondidas en el marco de la interacción entre los participantes del

grupo, en una dinámica donde éstos se sientan cómodos y libres de hablar y comentar sus opiniones (51).

Participantes. El grupo se estuvo conformado por cinco docentes de la escuela de Diseño Industrial y tres directivos del CENIVAM a los cuales se les formularon las siguientes preguntas:

- ¿Cuál alternativa cree Ud. que cumple con las necesidades tanto de la planta como del usuario?
- ¿Qué ventajas o desventajas logra identificar en las alternativas?
- ¿Qué recomendaciones nos podría aportar para mejorar el diseño de la granja vertical?
- ¿Cuál alternativa cree que permite el libre crecimiento y desarrollo de la planta?
- ¿Con cuál diseño piensa que se aprovecha mejor la luz solar para el beneficio de todas las plantas?
- ¿Cuál alternativa le parece que permite al usuario el acceso a cada una de las plantas para la fácil realización de sus tareas?

Resultados. Luego de ser expuestas las alternativas y discutido a partir de las preguntas antes planteadas, se obtuvieron los siguientes comentarios (Tabla 42).

Tabla 42: Resultados *Focus Group*

COMENTARIOS	
Alternativa 1	<ul style="list-style-type: none">• Es importante incluir las consideraciones del escalamiento del cultivo.• ¿Las plantas estarían dispuestas por ambos lados de la columna?• Calcular sombra de la columna vecina• Fenómeno de Columna – tiende a pandearse (por ser alto y delgado)
Alternativa 2	-
Alternativa 3	<ul style="list-style-type: none">• Faltaría “pulir” un poco más el diseño incorporando alguna información adicional sobre el tamaño de las plantas.• Se podrían individualizar las materas por plantas, no una sola para todas, me gusta el sistema de mover las materas.• Va a existir espacio muerto, es decir sin utilizar cuando las 4 macetas estén una encima de la otra• Inspira más seguridad y estabilidad. Pensando en el tipo de usuario más fácil de manejar.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none">• Se debe acotar la presentación de las alternativas de acuerdo al cumplimiento de los requerimientos, presentar más conceptos.• Debe entenderse el manejo del peso y carga de la estructura.• Presentar el espaciamiento entre estructuras, corredores• ¿Cómo funcionaría el sistema de riego?• Averiguar sobre sistemas de riego que no necesiten una motobomba para hacer circular agua.• Contemplar un concepto con sistema de columpios• Modelo de granjas verticales planteadas para cabeceras municipales (pero se puede dejar planteado para producción industrial).

Conclusiones

- Los participantes expresaron una incertidumbre en cuanto a las dimensiones de las alternativas y su escalamiento en un área de una Hectárea, para lo cual se hace necesario una evaluación de las alternativas en cuanto a la relación de dimensiones vs. Optimización del espacio, que podría estar afectando directamente los costos de producción del cultivo.
- Se hace necesario exponer la implementación y funcionamiento del sistema de riego sobre el cultivo vertical.

- No se presentaron dudas, observaciones o preferencias sobre la alternativa 2 tanto en las preguntas escritas como expuestas; esto se pudo presentar por su similitud a la alternativa 3. Además, dicha alternativa presentó mayor preferencia por presentar un mecanismo menos complejo y su configuración horizontal inspiró más seguridad y confianza a la hora de soportar cargas a diferencia de la alternativa 1.

8.6.4. Desarrollo de alternativas. Tras la selección de concepto realizada anteriormente se eligió un concepto de configuración vertical y otro horizontal que se definirán completamente y así seleccionar la alternativa final.

8.6.4.1. Configuración de los contenedores en forma vertical. La conformación del sistema consta de torres de 2 metros de altura aproximadamente (Figura 61) con una capacidad de 5 plantas dispuestas verticalmente en contenedores que se ensamblan entre sí con dirección opuesta al anterior (Figura 62).

Figura 61: Torre del sistema de cultivo vertical.

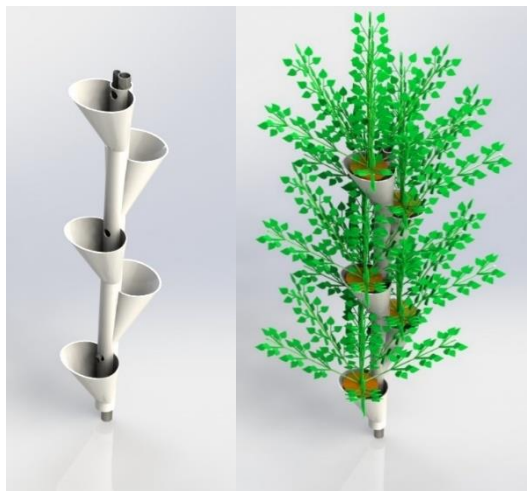
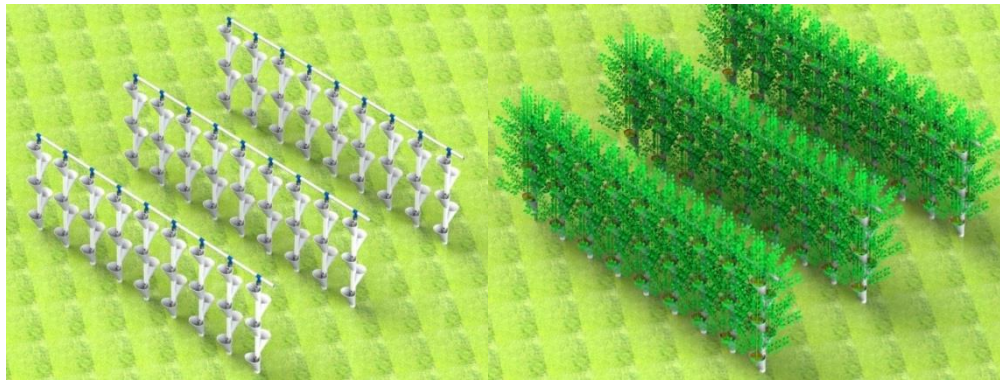


Figura 62: Ensamble de la torre



El sistema consta de un conjunto de torres dispuestos en línea en dirección norte-sur con 60 a 80 cm de separación para permitir el libre crecimiento de las plantas, conformando así los surcos (Figura 63). Dicha distancia se controla gracias a una estructura superior que al mismo tiempo ayuda a mantener las torres erguidas.

Figura 63: Surcos del sistema de cultivo.



Para hallar la distancia entre surcos se tomó como determinante la sombra proyectada por las torres al transcurrir el día, el cual se puede calcular a través de

la plataforma (Sunearthtools.com) donde se puede hallar dicha proyección en función del azimut y la elevación del sol según un punto geográfico en específico.

Tabla 43: Cálculo de proyección de sombra

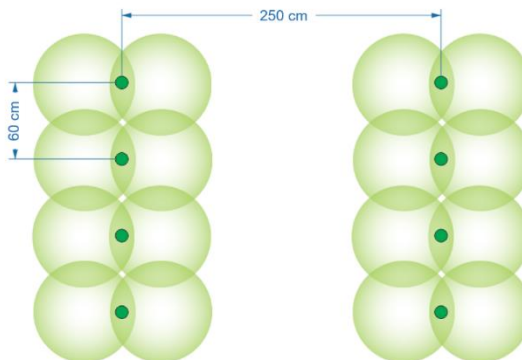
La longitud de la sombra en el mapa está normalizada (cambia con el zoom), y la dirección es la opuesta al ázimut.
 La medida de la longitud de la sombra, depende de la altura del obstáculo y de la elevación del Sol. La fórmula es: longitud de la sombra = altura del objeto/tan (elevación del Sol)

sombra length	Altura	Elevación °
1.83 =	2/tan	47.53°
sombra °	Azimut °	
254.10°	74.1°	

Fuente: (52)

Según los cálculos de la posición del sol, la distancia más eficiente entre surco y surco para permitir el paso del sol a todas las plantas es de 250 cm aproximadamente (Figura 64)

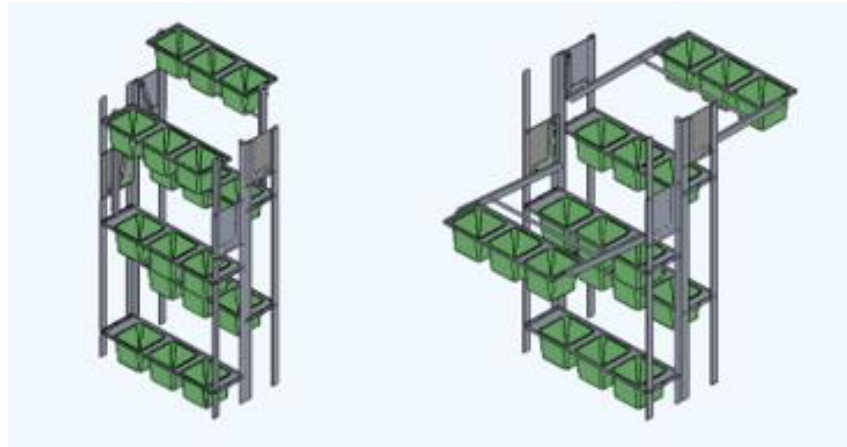
Figura 64: Distancia entre torres y surcos



8.6.4.2. Configuración de los contenedores en forma horizontal. El sistema está compuesto por contenedores dispuestos en hilera uno al lado del otro y que son sostenidos por una estructura metálica. La hilera superior es móvil y con ayuda de un brazo hidráulico baja hasta una altura adecuada para el alcance del usuario (120 cm aproximadamente) (Figura 65)

Tres hileras son dispuestas una sobre otra con una distancia de 80 cm suficiente para permitir el crecimiento libre de las plantas.

Figura 65: Sistema de cultivo con disposición horizontal



8.6.4.3. Sistema de riego. Para el desarrollo del concepto es importante la selección del sistema de riego con relación a los requerimientos del cultivo. Para ello se compararon las ventajas y desventajas de dos sistemas existentes que se podrían adaptar al cultivo vertical.

Aspersión. El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

Ventajas:

+ El control del riego automatizado, puede estar limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del reparto).

+ La uniformidad de aplicación, la cual es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

+ Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra a costa normalmente de una mayor inversión.

Desventajas:

- Mala uniformidad en el reparto por la acción de los vientos.

- Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costos de mantenimiento y funcionamiento (energía). También hay que hacer reparaciones todos los años.

Cinta de goteo. Es un medio de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos que permite condiciones de utilización más favorables para la planta. Para mantener el agua en la zona radicular de la planta, se aplica gota a gota por medio de cañerías y luego se distribuye por goteros o emisores.

Ventajas:

+Ahorro de agua.

+ Posibilidad de regar todo tipo de terrenos.

+ No altera la estructura del terreno.

Desventajas:

- Alto costo de instalación.

- No protege contra heladas.

-Obstrucción de goteros.

-Mayor calificación a los usuarios

Conclusiones. Se propone el sistema de riego por goteo por las ventajas mencionadas anteriormente, sin embargo, vale mencionar que, para su

implementación en el sistema de cultivo vertical en cuestión, se debe tener en cuenta algunos requerimientos mencionados por (53):

- ✓ Determinar frecuencia y volumen de riego según la planta y características del suelo.
- ✓ Abonado frecuente por lavado excesivo de nutrientes.
- ✓ Diseñar la distribución de las líneas de riego por el espacio de la planta y el espacio del cultivo en total.
- ✓ Diseñar el sistema de bombeo en función de la presión requerida, la ubicación de las tuberías y goteros.
- ✓ Analizar si el agua disponible en el lugar del cultivo es suficiente para el riego de todas las plantas.
- ✓ Seleccionar la motobomba, equipos de protección y control del sistema según los requerimientos eléctricos y costos.

Dichos requerimientos dependen no solo de las necesidades de la planta conocidas en este proyecto, sino también del tamaño del cultivo a realizar el cual en esta primera fase del producto no se conoce aún. Es por esto que se considera diseñar el sistema de riego en un posterior trabajo investigativo.

8.6.4.3. Análisis Modal de Fallos y Efectos. Para la selección final del concepto de diseño se aplicó un Análisis Modal de Fallos y Efectos que, según la NTP 679 de España es, “un método cualitativo que permite relacionar de manera sistemática una relación de fallos posibles, con sus consiguientes efectos, resultando de fácil aplicación para analizar cambios en el diseño o modificaciones en el proceso.”

La aplicación del AMFE aporta un mayor conocimiento del producto y sobre todo de sus aspectos más débiles con el fin de hallar lo elementos más críticos y las medidas preventivas a aplicar para su control. (54)

A cada concepto se le realizó un análisis por cada uno de sus elementos para poder realizar una comparación entre ellos y encontrar el más adecuado.

AMF Configuración vertical							
Elemento	Modo de fallo	Efecto	S	O	D	NPR	Acciones propuestas
Contenedor	Pandeamiento del contenedor	Separación de elementos que conforman el contenedor	4	3	2	24	Mínimo número de piezas que conforman el contenedor
		Rompimiento del contenedor	6	2	1	12	Analizar una forma de contenedor con la menor deformación posible
	Rompimiento de uniones del contenedor	Caída de material vegetal	8	3	1	24	
Unión entre contenedores	Ensamblaje incorrecto entre contenedores	Interfiere con el espacio de la planta y su libre desarrollo	6	3	4	72	Hacer visible el modo de ensamblaje (lenguaje de uso producto) Manual de instalación
		Desgaste de uniones	4	2	6	48	Ensamblajes fijos
	Rompimiento del ensamble entre contenedores	Falla la restricción de movimiento requerida por el producto	5	3	4	60	Evitar formas críticas propensas a fallar
Estructura	Fallo de estabilidad por penetración inadecuada al suelo	Inclinación/ caída de la estructura/ lastimar al usuario	9	5	1	45	Proporcionar una base al diseño
	Fallo de estabilidad por falta de verticalidad en su instalación	Fallo funcional por mal uso, caída de la estructura	9	5	2	90	
	Deterioro de piezas por intemperie	Degradación de los elementos	8	4	2	64	Mantenimiento preventivo de piezas críticas
Riego	Separación de goteros por contacto con otras piezas del sistema	No administra el agua requerida	6	5	4	120	Disminución número de piezas de riego Reforzamiento en uniones Mantenimiento preventivo
	Fuga por uniones del sistema de riego	Perdida de agua	4	3	4	48	
	Taponamiento de goteros	No administra el agua requerida	6	3	5	90	Mantenimiento preventivo semestralmente
Uniones estructurales entre torres	Rompimiento de la pieza de unión entre perfiles	Posible desajuste del sistema de riego	5	3	3	45	Implementar la unión superior entre estructuras únicamente con el fin de conectar el sistema de riego por todo el cultivo.
		Inestabilidad de la estructura en zona superior	3	2	3	18	
	Ensamblaje incorrecto al perfil estructural	Inclinación de la torre	4	2	4	32	
Tubo superior	Ensamblaje incorrecto por instalación discontinua de las torres	Incorrecta instalación (forzada) del sistema de riego	5	3	2	30	

AMFE configuración horizontal y vertical							
Elemento	Modo de fallo	Efecto	S	O	D	NPR	Acciones propuestas
Estructura (perfiles)	Falta de estabilidad por deficiencia en la verticalidad debido instalación	Fallo funcional por mal uso, caída de la estructura	9	5	2	90	
	fatiga de sus elementos debido a cargas externas	deformación de elementos	5	3	3	45	Análisis de esfuerzos con diferentes materiales para utilizar el más óptimo
		rompimiento de sus elementos	8	3	2	48	
		desplome de la estructura	9	3	4	108	Cambio de material propuesto
Tornillos	Rompimiento del tornillo	las piezas unidas por el tornillo queden libres o sueltas	8	4	2	64	Analizar diferentes marcas de proveedores, los materiales y procesos de construcción.
	Rompimiento de la rosca	Tornillo quede flojo	6	3	3	54	
	Oxidación y desgaste del material	degradación de los elementos	5	4	3	60	Utilizar material resistente a condiciones ambientales
Placa metálica	Desgaste del material por fricción	Degradación de los elementos que conectan al mecanismo	8	5	2	80	Análisis de esfuerzos Establecer mantenimiento preventivo del mecanismo.
		Rompimiento de uniones con el mecanismo	9	5	3	135	
	Soldadura	Pieza desalineada / distorsión longitudinal	7	5	3	105	Colocar el trabajo de forma cómoda y práctica, afianzar las piezas con agarres o abrazaderas
		Agrietamiento	8	4	3	96	Aumentar la fuerza del material base
brazos de anclaje (soporte-pistón) y Brazo de extensión	Error en la restricción del movimiento angular del brazo	Daño del material vegetal	9	4	2	72	Reevaluar modo de accionamiento y funcionamiento del mecanismo
		Lesiones al usuario	9	5	2	90	
	Rotura de pieza por cargas externas	Caída de contenedores	8	7	2	112	Reforzamiento de uniones
		Daño al usuario	9	5	2	90	Mantenimiento preventivo
		Daño del material vegetal	9	5	1	45	
	desgaste de material por contacto (uniones)	Degradación de las uniones de la pieza	8	5	2	80	Análisis de las propiedades de los materiales, proponer nuevos

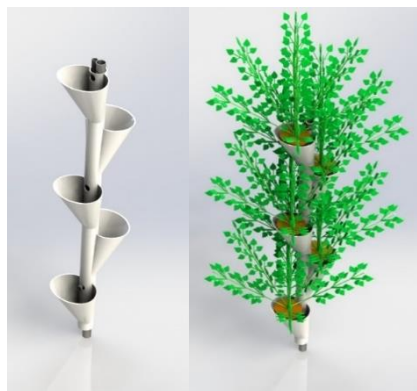
		Rompimiento de uniones con mecanismo y contenedores	9	5	2	90	Rediseño de uniones, análisis de dimensiones
Soporte contenedores	rotura de sistema de unión	La pieza queda suelta o libre	9	4	3	108	Reforzamiento de uniones
		El soporte y los contenedores se desploman	9	3	2	54	
	Perforación donde se ubica el pin (unión) de los contenedores no está en ubicación exacta	La pieza queda desalineada o no encaja	7	6	1	42	
Contenedor individual	rotura de borde donde descansa el contenedor en el soporte	Desplome de tierra y planta	9	3	3	81	Replantear las dimensiones del contenedor y su forma de unión
	Pandeo del contenedor	Separación de elementos que conforman el contenedor	4	3	2	24	
		Rompimiento del contenedor	6	2	1	12	
Sistema de riego	Separación de goteros	No administra el agua requerida	6	5	4	120	Disminución número de piezas de riego Reforzamiento en uniones Mantenimiento preventivo
	Fuga por uniones del sistema de riego	Perdida de agua	4	3	4	48	
	Taponamiento de goteros	No administra el agua requerida	6	3	5	90	Mantenimiento preventivo
	Deterioro de piezas por intemperie	Degradación de los elementos	8	4	2	64	Mantenimiento preventivo de piezas críticas

Conclusiones. Según los datos arrojados por el AMFE, la alternativa 1 de configuración vertical es la que presenta menores cifras de posibles fallos en sus componentes, por lo que es seleccionada como el concepto de diseño a desarrollar. Sin embargo, se tendrá en cuenta esta evaluación en la fase de diseño de detalle para mejorar los elementos más propensos a fallos.

- Al analizar el concepto de diseño, se concluyó que existía la necesidad de implementar una base a la estructura que le permitiera mantenerse erguido y le ayudara a soportar los esfuerzos producidos por los demás componentes del sistema. Dicha base iría bajo el suelo como sujeción de la torre (Figura.)
- En el concepto de diseño se propuso una estructura adicional por encima de las torres para mantener la distancia entre ellas y su verticalidad. Pero, al enfrentar un terreno inclinado, la estructura no garantiza cumplir con su función por lo que en su lugar se implementa una base que ayude a la estabilidad de la torre.
- Para la implementación del sistema de riego se toma como referencia la estructura superior propuesta anteriormente la cual permite una conexión con todas las torres del sistema con un solo punto de alimentación de agua

8.7. DISEÑO DE DETALLE

8.7.1. Principio de diseño

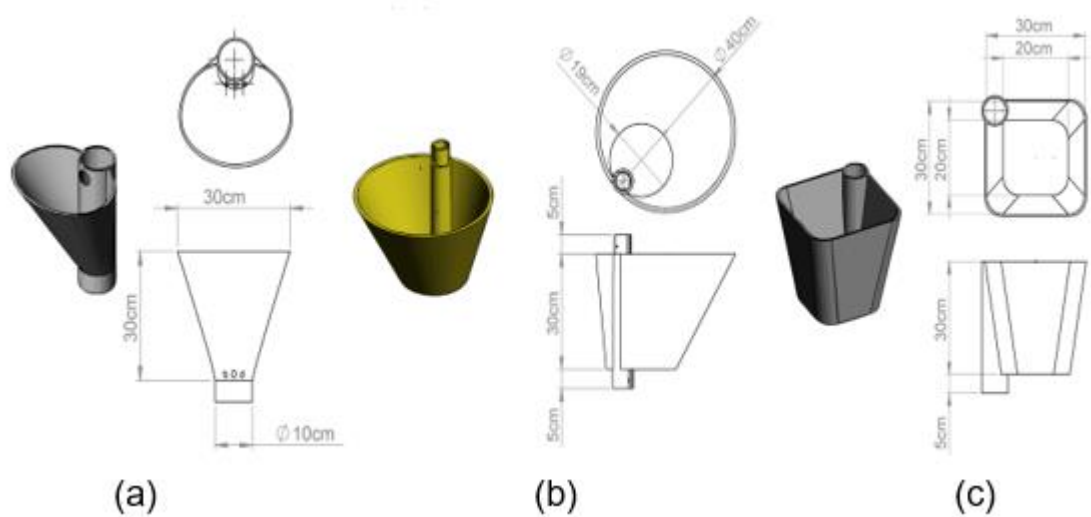


Aspectos a incluir en el diseño:

- Trabajar en la forma del contenedor de manera que se disminuya su deformación por cargas y se simplifique el número de piezas que lo conforman.
- Diseñar ensambles visibles que indiquen el modo de conexión entre piezas.
- Implementar una base a la estructura que le dé estabilidad y ayude a soportar los esfuerzos producidos por los demás componentes del sistema.
- Diseñar un sistema de riego cuya red disponga el agua por el extremo superior de las torres.

Análisis del contenedor

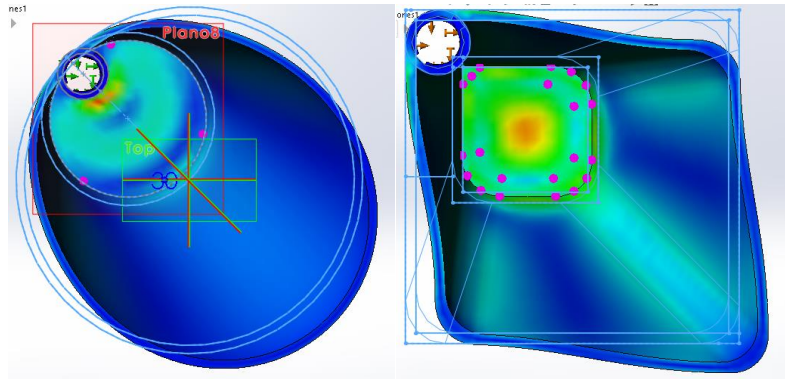
Figura 66: Alternativas de contenedor



(a)Principio de diseño, (b)Contenedor circular con dimensiones requeridas, (c)contenedor prismático con dimensiones requeridas.

Se evaluó el comportamiento de las formas b y c, a las cargas a las que serán sometidas para seleccionar cual es la más eficiente para el producto.

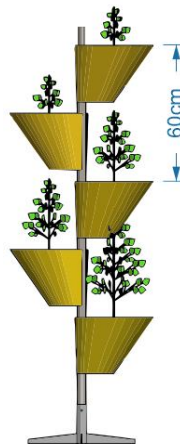
Figura 67: Análisis estático de contenedores



Al observar la deformación, se hace evidente que la forma circular es más estable que la forma prismática tanto por las secciones críticas mostradas de color verde a rojo, como por la diferencia de la forma inicial (indicada por la silueta en color celeste) con la forma final tal como lo muestra la imagen. Por lo anterior se seleccionó el contenedor circular para continuar con el proceso de diseño.

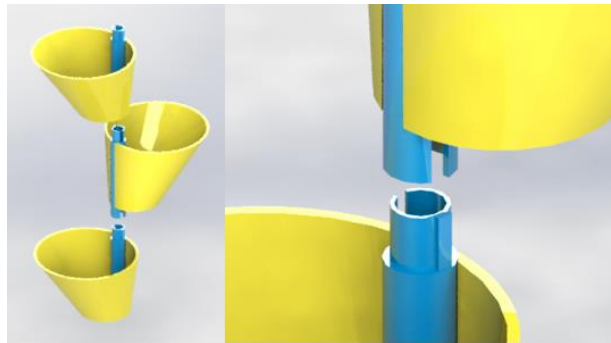
Conformación de las torres de cultivo. Se tomó el contenedor circular como el módulo base para la conformación de las torres. Para permitir el libre crecimiento de la planta, se creó un espacio entre contenedores alternando la posición de los mismos (Figura 68) dando como resultado una altura igual al doble de la profundidad del contenedor (60cm).

Figura 68: Configuración de la torre



Es importante restringir la posición de los contenedores para mantener su alternabilidad, para ello, dichos módulos se conectan por su eje (indicado de color azul en la figura 69) cuyos extremos tienen un empalme que únicamente encaja un contenedor con el siguiente cuando éste se encuentre en dirección opuesta al anterior.

Figura 69: Ensamble entre contenedores



Base estructural. Se propone la inclusión de una base estructural dentro del diseño con el fin de brindarle estabilidad a la torre y mejor adhesión al suelo. Una sección de 30 cm del eje principal de la torre estará bajo tierra y la base estructural, suspendida sobre el suelo, le ayuda a permanecer en posición vertical.

Figura 70: Diseño de torre de cultivo



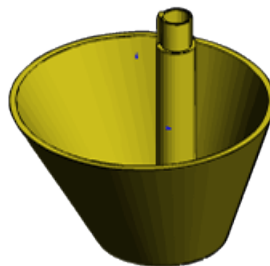
8.7.2. Análisis del diseño

Manufactura. Se observa que el módulo principal del sistema (contenedor) puede estar conformado por dos piezas (eje y contenedor) para su manufactura ya que al construirlo en una sola pieza aumenta considerablemente los costos de producción por el proceso e instrumentos requeridos.

Forma. El contenedor al estar conformado por dos piezas, está dependiendo de una unión vulnerable a fallas por el esfuerzo al que se encontrará sometido; por lo cual se recomienda rediseñar dicho módulo separándolo en contenedor y conector (contenedor a la estructura vertical), de esta manera el producto podría adquirir mejor manejo en su instalación, mayor resistencia durante su ciclo de uso, e incluso ganaría versatilidad al tener la posibilidad de utilizar diferentes contenedores presentes en el mercado actual.

8.7.3. Rediseño del módulo

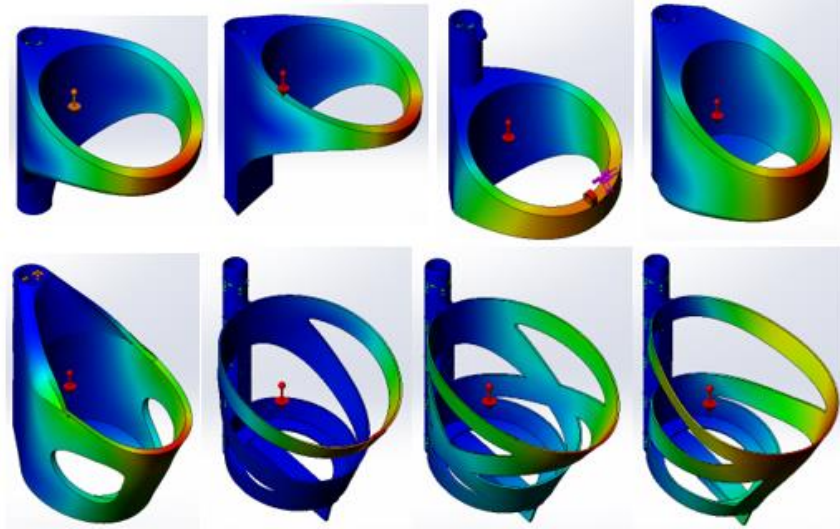
Figura 71: Principio de diseño del módulo contenedor



Para el rediseño del módulo se propone utilizar un contenedor del mercado que cumpla con los requerimientos del cultivo al cual se le diseña una base encargada de sostener el contenedor en la estructura vertical del producto.

Base del contenedor.

Figura 72: Experimentación de la forma



Observaciones. El eje de la base está cumpliendo la función de conector de la base a la estructura y de separador entre base y base, lo cual restringe el diseño de la forma de la base con respecto a su función principal que es el de sostener el peso del contenedor.

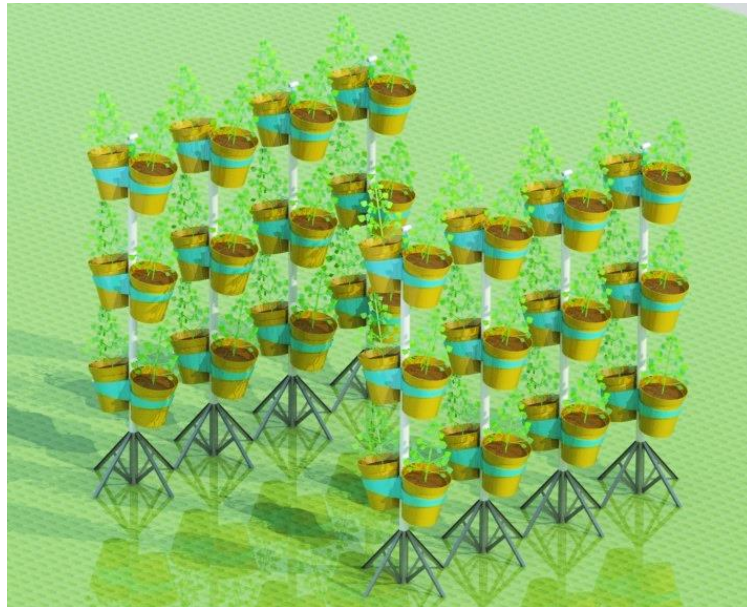
En respuesta a esta observación, se decidió separar la base en dos partes (base y separador) de esta manera el diseño de la base a la estructura se basa más en resistir las cargas y distribuirlas hacia a la estructura.

Debido a la implementación de separadores en el diseño, se abrió la posibilidad de modificar la base para una capacidad de dos plantas ubicadas en dirección opuesta una a la otra y así optimizar mejor el espacio.

8.8. DISEÑO DEL PRODUCTO

El cultivo vertical PARTERRE (Figura 73) está conformado por dos sub sistemas: las torres y el sistema de riego, los cuales cuentan con diferentes elementos descritos a continuación

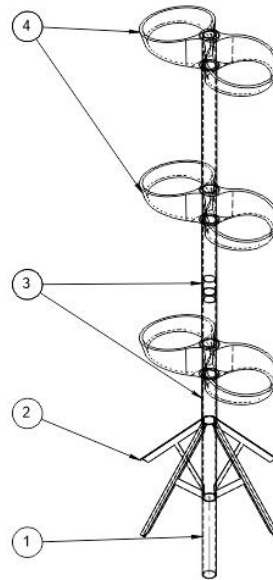
Figura 73: Cultivo vertical PARTERRE



8.8.1. Torres del cultivo. El sistema de cultivo vertical está compuesto por un conjunto de torres que sirven como estructura para ubicar las plantas en forma vertical hasta una altura de 170 cm, brindándoles el espacio necesario para su crecimiento. Cada torre está conformada por los siguientes elementos pensados para conformar una estructura esbelta/delgada que permite el paso de luz y al mismo tiempo resiste las cargas que se ejercen sobre él:

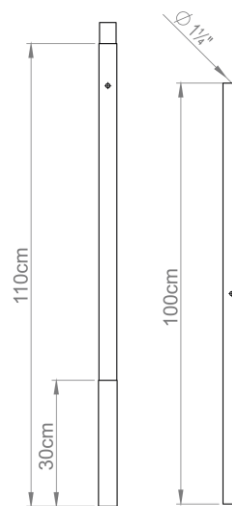
1. Eje principal
2. Soporte estructural
3. Tubos separadores
4. Base de contenedores

Figura 74: Elementos de la torre



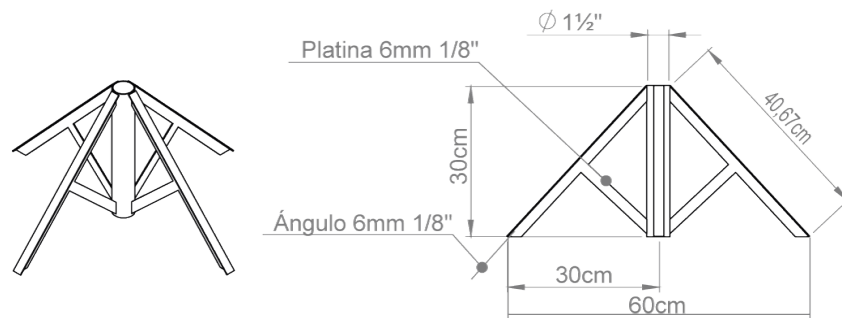
8.8.1.1. Eje principal. El eje principal de la torre tiene una longitud total de 200 cm, el cual es enterrado 30 cm bajo tierra brindándole estabilidad a la torre. Este eje consta de dos secciones que se ensamblan durante la instalación de la torre, esto con el fin de facilitar el transporte y armado del producto.

Figura 75: Partes del eje principal



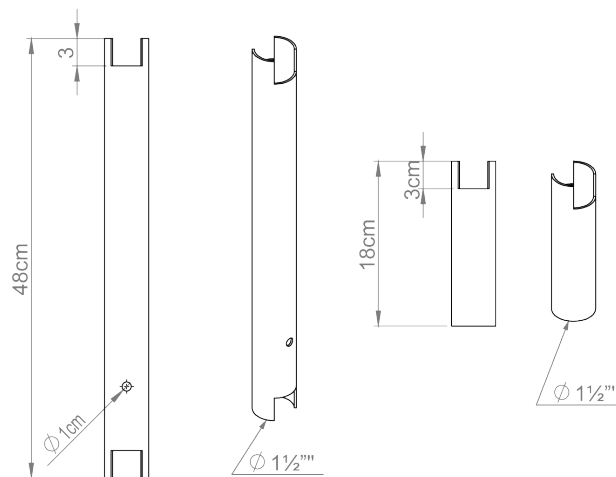
8.8.1.2. Soporte estructural. El eje estructural se sostiene principalmente de este soporte que es el encargado de brindarle estabilidad a la estructura. Se ubica sobre la tierra y encima de él se disponen los demás elementos de la torre, soportando así todas las cargas y distribuyéndolas por sus cuatro extremos hasta el suelo.

Figura 76: Planos del soporte estructural



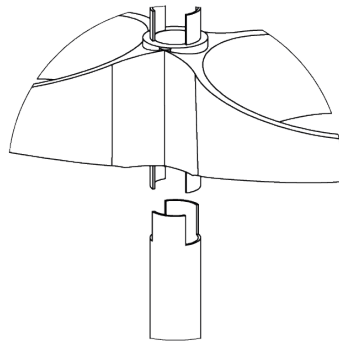
8.8.1.3. Tubos separadores. Los elementos estructurales que brindan el espacio entre las plantas y mantienen las piezas en su lugar son los tubos separadores, los cuales también ayudan a distribuir las cargas hacia el soporte y a través de ellos pasan las mangueras del sistema de riego hacia los contenedores.

Figura 77: Tubos separadores



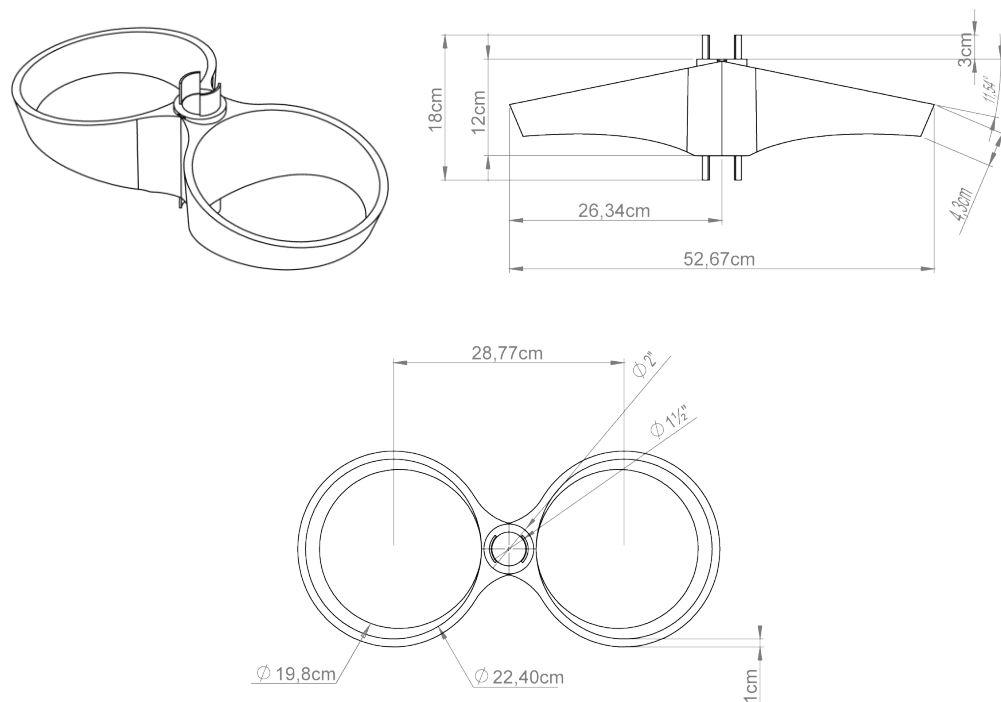
Además de sostener las cargas, estos separadores tienen en sus extremos un sistema de ensamble para restringir el movimiento de las piezas de la torre y mantener las bases de los contenedores en la posición deseada (Figura 78)

Figura 78: Ensamble separador-base



8.8.1.4. Base de contenedores. Es una pieza esencial en el producto que soporta directamente la carga del contenedor y lo mantiene sujeto a la torre. Cada base tiene capacidad para dos contenedores a lado y lado de su eje.

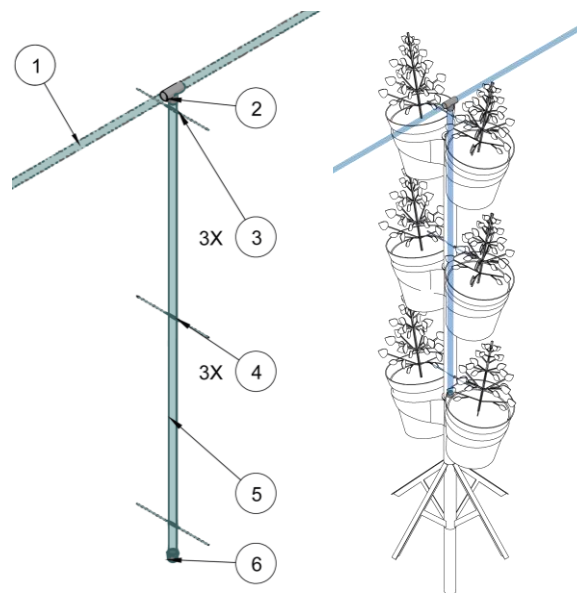
Figura 79: Planos de la base



8.8.2. Sistema de riego. Como uno de los sub sistemas del cultivo vertical se encuentra el sistema de riego cuyo fin es mantener el agua en la zona radicular de la planta y así evitar pérdidas. El agua se distribuye desde una fuente central y pasa por una red de mangueras en la parte superior del cultivo que conecta todas las torres. La red de mangueras se ramifica en cada torre por medio de mangueras más delgadas que dan a cada contenedor y aplican el agua gota a gota por medio de goteros o emisores. El sistema de riego consta de los siguientes elementos:

1. Manguera superior del sistema
2. Unión en (T)
3. Secciones de manguera
4. Goteros
5. Manguera central de la torre
6. Tapón

Figura 80: Elementos del sistema de riego



8.8.3. Funcionamiento. El cultivo vertical PARTERRE tiene capacidad para 6 plantas ocupando una superficie de 3600 cm². Una vez la estructura está en pie con el sistema de riego, las plantas son cultivadas en los contenedores para ser ubicados sobre las bases. Se riega y administra abono según lo requerido por el

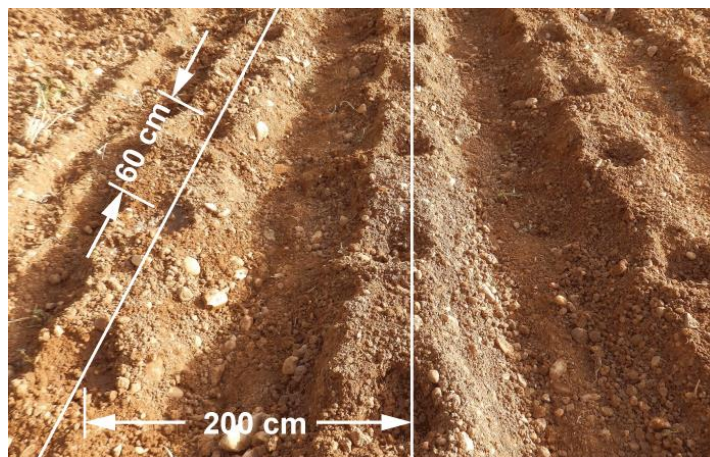
cultivo hasta conseguir una altura considerable para su cosecha. Para la cosecha se cortan las ramas de la planta a 10 cm de la superficie de la tierra comenzando desde las plantas inferiores hasta las superiores (se retiran las macetas superiores de ser necesario y se ubican de nuevo en su lugar luego del corte de la planta).

8.8.4. Secuencia de uso

Fase 1: Preparación del terreno

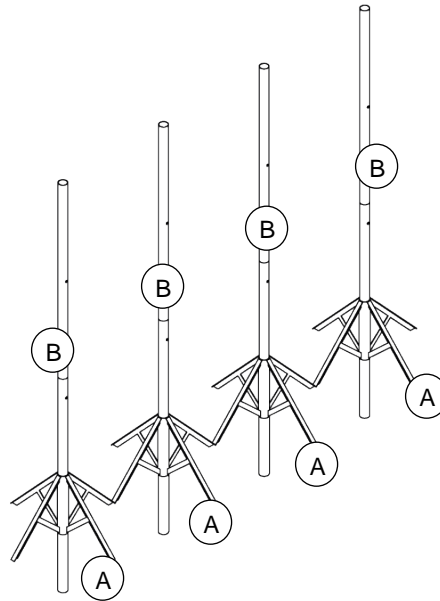
- Reunir herramientas para la instalación
- Trazar los surcos sobre la tierra con 2 metros de distancia entre ellos
- Cavar hoyos de 30 cm de profundidad a 60 cm de distancia entre ellos (Figura 81)
- Colocar el soporte estructural de las torres (A) sobre los hoyos
- Insertar los ejes de las torres (B) en el suelo y asegurar la tierra alrededor (Figura 82)
- Controlar la verticalidad de los ejes (90°)
- Armar las torres

Figura 81: Separación entre surcos y torres



Fuente: (55)

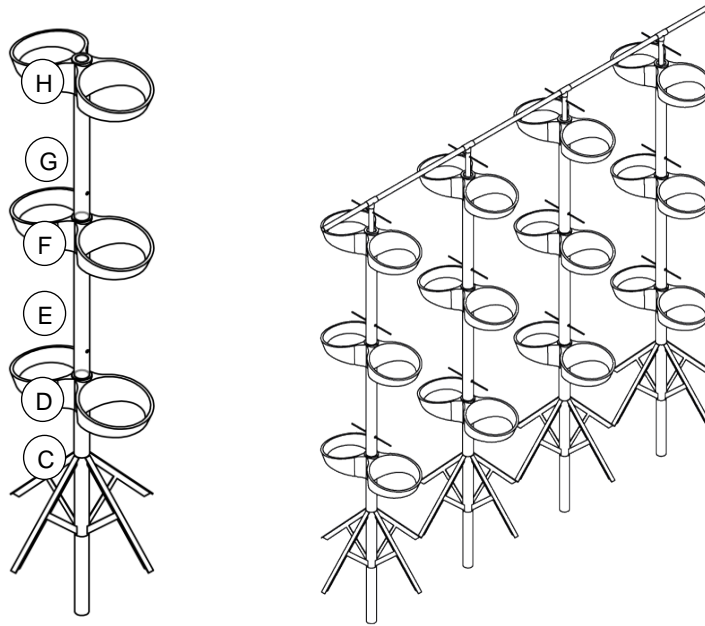
Figura 82: Instalación del eje principal de las torres



Fase 2: Instalación de las torres

- Colocar el tubo separador (C) sobre el soporte estructural (A)
- Colocar la base de los contenedores (D) sobre el separador (C)
- Deslizar separador (E) por el eje hasta la base (D)
- Colocar la base de los contenedores (F) sobre el separador (E)
- Deslizar separador (G) por el eje hasta la base (F)
- Colocar la base de los contenedores (H) en la cima de la torre
- Instalar sistema de riego

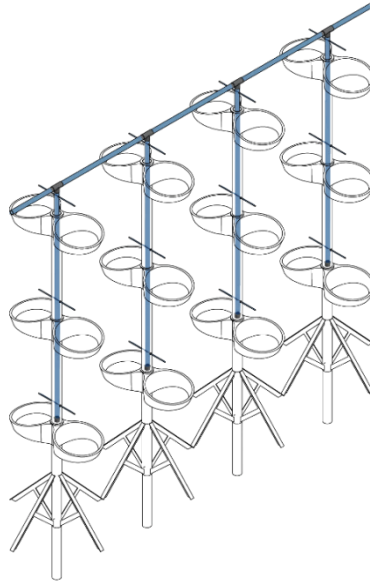
Figura 83: Montaje de las torres



Fase 3: Instalación del sistema de riego

- Ubique la manguera central de la torre dentro del eje
- Inserte las secciones de manguera por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado
- Conecte la manguera central a la unión en (T) y conecte la manguera superior del sistema

Figura 84: Sistema de riego del cultivo vertical



Fase 4: Cultivo y mantenimiento

- Cultivar plantas en los contenedores
- Ubicar contenedores en las bases
- Activar sistema de riego/ Regar plantas manualmente
- Verter abono
- Corte del material vegetal a 10 cm del nivel de la tierra de las plantas inferiores
- Retirar contenedores superiores y ubicarlos en el suelo
- Cortar el material vegetal a 10 cm del nivel de la tierra
- Ubicar contenedores superiores en la estructura

Figura 85: Cultivo en funcionamiento.

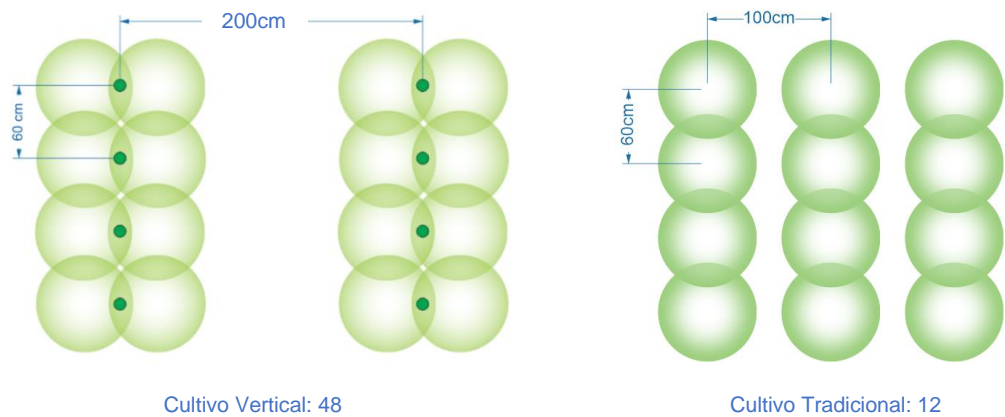


8.9. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

8.9.1. Función

Optimización. Optimiza el espacio en comparación con el cultivo tradicional: 48 vs 12 plantas en 4 m²

Figura 86: Número de plantas en el cultivo vertical vs cultivo tradicional



Resistencia. Contiene y soporta el peso de cada planta y su cantidad de tierra:
Análisis estático SolidWorks (Anexo 1)

Análisis estático del modelo

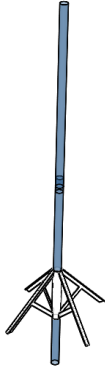
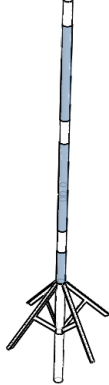
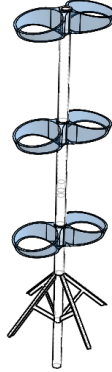
Mediante el análisis estático se simuló los desplazamientos, tensiones y deformaciones unitarias que se producen en el modelo del producto bajo las condiciones de funcionamiento a las cuales estará sometido (Tabla 44) todo esto con el fin de identificar y pronosticar posibles fallos durante el ciclo de vida del producto.

Tabla 44: Cargas aplicadas al modelo

CARGAS SOBRE EL MODELO		PIEZA DEL MODELO	CANTIDAD
Conexiones	Conjuntos de contactos	Contacto entre la base y el eje	-
		Contactos entre soportes y separadores	-
Sujeciones	Geometría fija	Superficie del eje bajo el suelo	-
		Extremos de la Base sobre el suelo	-
Cargas externas	Gravedad	Normal al plano planta	9.81 m/s ²
	Carga distribuida	Caras que soportan los contenedores	10 Kg



Tabla 45: Propiedades del material de las piezas del producto

PROPIEDAD	PIEZAS DEL PRODUCTO			UNIDADES
	EJE Y PRINCIPAL	BASE	SEPARADORES	
				
	Acero laminado en caliente (AISI 1010)	PVC rígido	PP copolimero	
Módulo elástico	200000	2410	896	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,29	0,3825	0,4103	N/D
Módulo cortante	80000	866,7	315,8	N/mm ²
Densidad de masa	7870	1300	890	Kg/mm ³
Límite de tracción	25	40,7	27,6	N/mm ²
Límite elástico	180	-		N/mm ²

Resultados

Mediante este análisis, se evaluó el ciclo de vida útil de la granja vertical en función a la resistencia mecánica ante las cargas a las que se encontrará sometido durante su uso, las cuales corresponden a la suma del peso de la tierra y la planta en cada contenedor y que, junto a condiciones de unión entre las piezas, gravedad y sujeciones, fueron simuladas utilizando el software SolidWorks que generó resultados de:

- Tensiones, que demuestran que el modelo resiste esfuerzos a tensión de hasta $4.46319e+007$ N/m². (Figura 87)
- Desplazamientos, medidos en mm que demuestran cualquier tipo de movimiento del modelo bajo las cargas aplicadas, las cuales arrojaron que se llega a desplazar hasta un máximo de 2.35757 mm en la zona crítica del modelo marcado con colores verde a rojo (Figura 88)
- Deformaciones unitarias, mostrado en ESTRN: Deformación unitaria equivalente a 0.00133275 máximo y marcado con cambio de color en el modelo (Figura 89)

Figura 87: Análisis estático tensión nodal

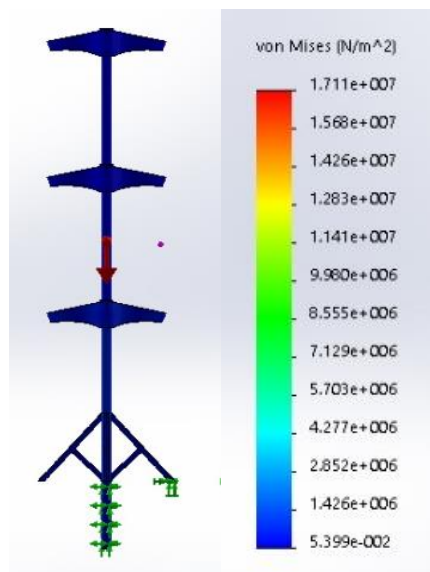


Figura 88: Desplazamiento estático

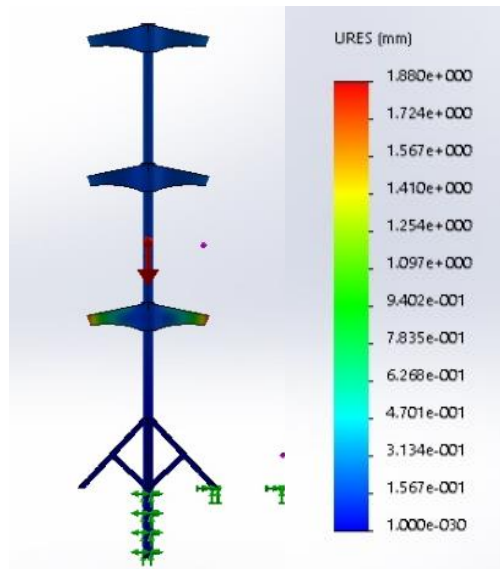
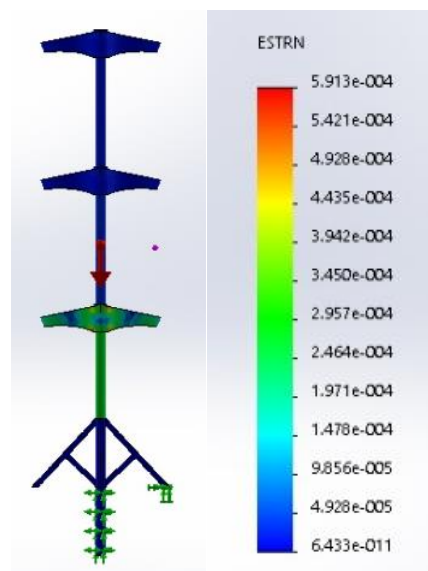


Figura 89: Deformación unitaria estática

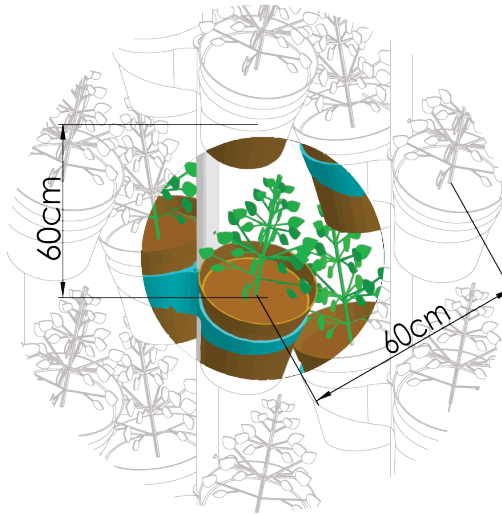


Recursos. Suple a la planta con los elementos necesarios para su crecimiento.

Espacio

Para el libre crecimiento de la *Lippia origanoides*, es necesario cumplir con una masa de tierra mínimo de 10Kg o un contenedor de 8Lt de capacidad. De igual forma, el espacio que necesita la planta para crecer debe ser alrededor de los 216000 cm³ (Figura 90) ya que, al ser un arbusto, este tiende a aprovechar todo el espacio a su alrededor.

Figura 90: Espacio de crecimiento de la planta



Luz solar

En Colombia, existen nichos naturales para especies de *Lippia origanoides* ubicados en zonas con ambientes secos o semidesérticos como la zona del Cañón del Río Chicamocha (Santander) y en el cordón panamericano de la región del Alto Patía (5), lo cual indica que la planta requiere la mayor cantidad de luz solar diaria posible.

Para conocer la cantidad en horas de luz se calculó la proyección de la sombra de las torres del cultivo vertical y así hallar la distancia entre surcos evitando que dicha proyección caiga sobre la siguiente hilera de torres (surco). Se recurrió a la plataforma (Sunearthtools.com) dónde según el lugar geográfico y la fecha del año,

se puede hallar la proyección de la sombra de un cuerpo de altura cualquiera en función del azimut y la elevación del sol.

Paso 1

Reconocimiento del sitio geográfico de medición y fecha para registrar el comportamiento del sol en las distintas estaciones del año ya que las horas de luz solar pueden variar.

Figura 91: Datos de punto geográfico y fecha del año

Fuente: (52)

Paso 2

La medida de la longitud de la sombra depende de la altura del obstáculo y de la elevación del Sol en una hora del día determinado. La fórmula es:

$$\text{longitud de la sombra} = \text{altura del objeto} / \tan(\text{elevación del Sol})$$

Figura 92: Cálculo realizado por la plataforma Sunearttools.com

Fecha:	28/07/2017 GMT-5	
coordinar:	6.554824, -73.13412	
ubicación:	San Gil, Santander, Colombia	
hora	Elevación	Azimut
06:46:30	-0.833°	70.89°
7:00:00	2.33°	71.26°
8:00:00	16.49°	72.22°
9:00:00	30.68°	71.93°
10:00:00	44.78°	69.88°
11:00:00	58.54°	64.22°
12:00:00	71.1°	48.15°

sombra length	=	Altura	Elevación °
2.02	=	2	tan 44.78°
sombra °		Azimut °	
249.88°		69.88°	

Fuente: (52)

Tras registrar la proyección de la sombra en diferentes épocas del año y horas del día, se estimó que los periodos de tiempo en los que todas las plantas ubicadas en dirección este, reciben luz solar sin proyección de sombra desde las 9 am; y las plantas en dirección oeste reciben luz solar sin proyección de sombra hasta las 4 pm.

Sin embargo, la estructura está diseñada con elementos de sección angosta para permitir el paso de la luz solar, sumándole horas de luz a las plantas.

Figura 93: Proyección de la sombra 9 am

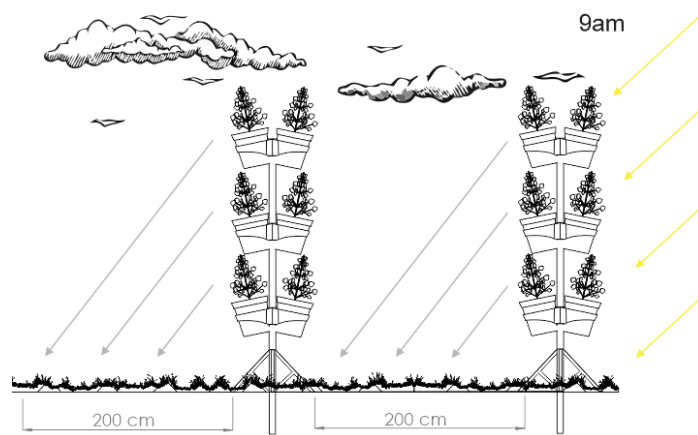


Figura 94: Proyección de la sombra en horas de la mañana

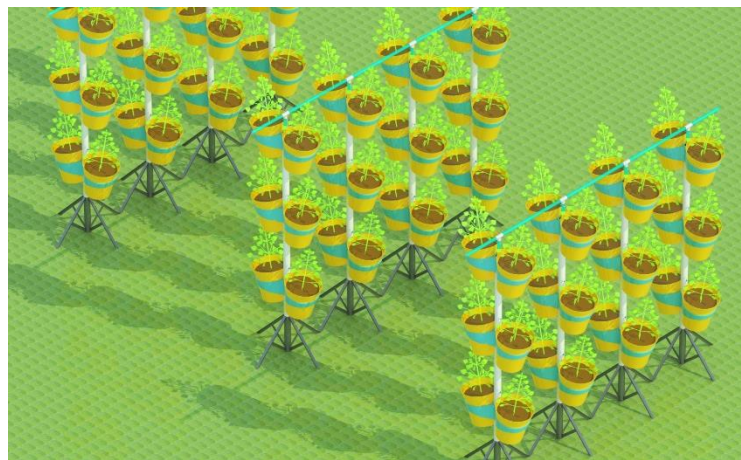


Figura 95: Proyección de la sombra a las 4 pm

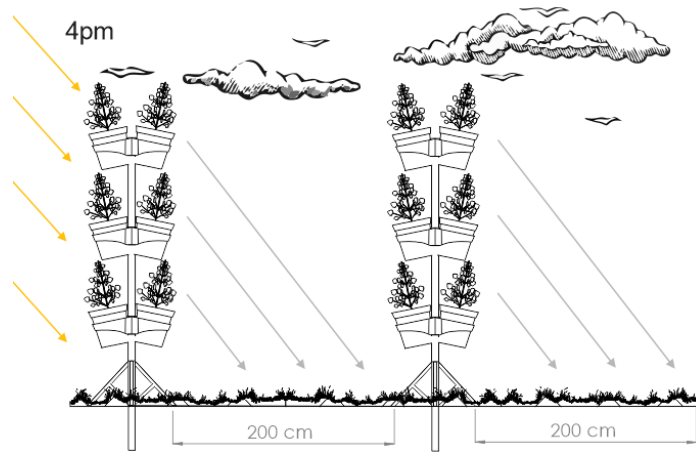
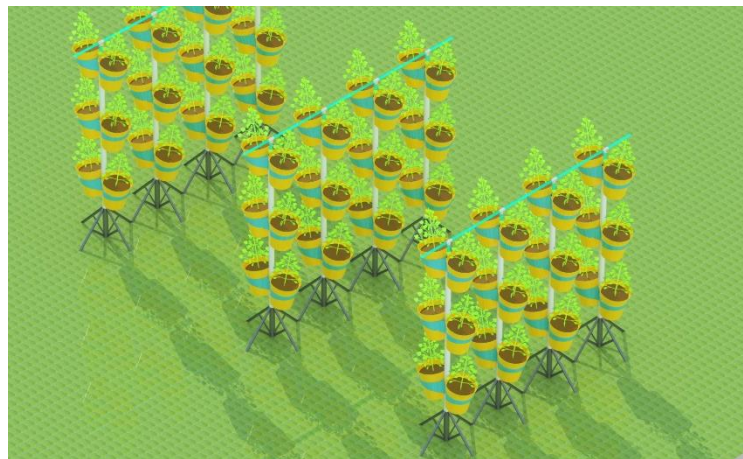


Figura 96: Proyección de la sombra en horas de la tarde



Agua

Se propuso un sistema de riego por goteo que busca ser preciso en la dosificación del riego evitando pérdidas por evaporación ya que solo se riega la zona que se encuentra a la sombra de la planta. Igualmente se debe tener en cuenta las características de la tierra utilizada, la forma de distribución del agua y tipo de gotero, el efecto de la localización y condiciones ambientales con el fin de hallar la dosis y tiempo de riego (53).

$$D_{\text{Max}}(\text{mm}) = y(C_c - C_M)d_a z \frac{P}{100}$$

D_{max} = Dosis de riego máximo

y = El porcentaje de descenso de humedad permitido.

C_c =Humedad correspondiente a la capacidad de campo en mm/m.

C_M =Humedad correspondiente en el punto de marchitez, en mm/m.

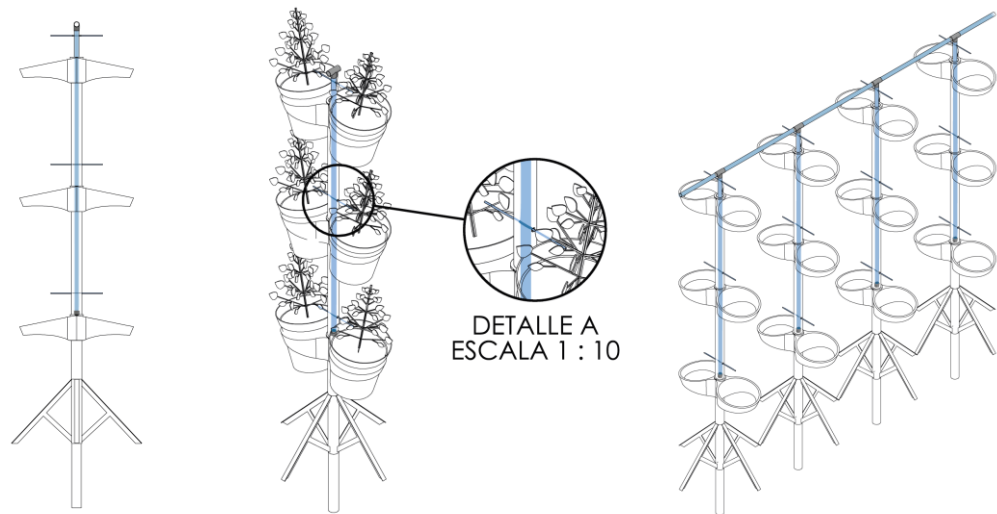
z = Profundidad del suelo adecuada a las raíces del cultivo en m.

P = Porcentaje del área por humedecer.

d_a = Densidad aparente del terreno.

$y = 0,3$ productos sensibles a la sequía y $0,6$ para productos poco sensibles.

Figura 97: Red de goteo del cultivo



Observación. A partir de las diferentes variables necesarias para la construcción de un sistema de riego eficiente, demuestran que éste se debe diseñar en base a la definición del espacio de cultivo, cantidad de plantas y tipo de tierra a utilizar entre

otros, es por esto que el sistema de bombeo, conexión y almacenamiento de agua se deben desarrollar en un trabajo posterior y más profundo sobre el tema.

8.9.2. Uso

Transporte. Los elementos del producto ocupan el menor espacio posible para su transporte:

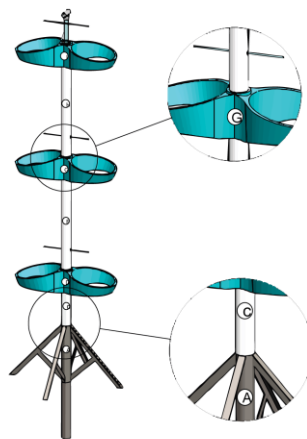
A pesar de que el cultivo está conformado por un conjunto de torres de hasta 2 metros de altura, cada uno está compuesto por una serie de elementos ensamblables entre si y de no más de 110 cm de longitud, lo que facilita su transporte y manipulación.

Usabilidad. El usuario entiende y utiliza correctamente el producto:

Para la instalación de las torres se nombraron las piezas en orden alfabético (A-H) según el orden de armado.

Dicha nomenclatura está ilustrada en cada pieza siguiendo la misma orientación vertical (Figura 98) de tal manera que el usuario va posicionando las piezas por el lado correcto.

Figura 98: Nomenclatura de instalación



Manual instalación

El producto incluye un manual de instalación indicando los pasos de la secuencia de uso y su respectiva ilustración (Anexo 2).

8.9.3. Desempeño

Resistencia. El material del producto (polímeros y acero) resiste los esfuerzos mecánicos (Anexo 1) y es sostenible ambientalmente (Anexo 3).

Con la propuesta de un material compuesto a base de una matriz polimérica de origen reconstituido reforzado con fibras naturales, se pretende aplicarlo en la pieza principal de este producto por la motivación al avance hacia un diseño responsable mediante la reutilización de materias primas, la optimización de los procesos de producción y el manejo adecuado de su disposición final, además del intento por minimizar el impacto ambiental.

Con ayuda del módulo de sustentabilidad de SolidWorks se evaluó el impacto ambiental de la producción de esta pieza con polipropileno reciclado al 90% para medir su impacto a nivel de cuatro factores:

Huella de carbono

El dióxido de carbono y otros gases generados medidos en (kg CO₂e) que con producidos por la combustión de combustibles que se pueden acumular en la atmósfera. La huella de carbono es un indicador de un factor de impacto global conocido como potencial de calentamiento global (GWP).

Energía total consumida

Medida expresada en megajulios (MJ) de las fuentes de energía no renovables asociadas con el ciclo de vida de la pieza. La energía total consumida se expresa como el valor calorífico neto de la demanda de energía obtenida a partir de recursos no renovables (petróleo, gas natural, etc.).

Eutrofización del agua

La eutrofización se produce al agregar un exceso de nutrientes en un ecosistema acuático. Normalmente, este impacto medioambiental se mide en fosfato equivalente a kg (PO₄) o en nitrógeno equivalente (N). (56)

8.10. PRUEBA DE CONCEPTO

Se verificó el cumplimiento de los requerimientos del concepto del producto. Para ello se realizó una prueba técnica para evaluar el funcionamiento del producto, para llevarlo a cabo fue imprescindible la realización de modelos para predecir el futuro de la idea. Ayudó a dar forma al concepto más allá del aspecto y las expectativas del diseño.

8.10.1. Test de usabilidad. La evaluación de la usabilidad es la etapa más importante en el proceso de Diseño Centrado en el Usuario, se puede realizar a través de varios métodos o técnicas y sobre diferentes representaciones del sitio (prototipos en papel, prototipos software, modelo físico, etc.)

El método de test realizado es el protocolo de preguntas, en el cual se les proporcionó a los participantes el producto a probar y una serie de tareas a realizar con dicho producto mientras explicaban lo que pensaban. Paralelamente se les formularon preguntas a manera de dialogo para indagar sobre aspectos concretos y motivar al participante a expresar sus observaciones.

8.10.1.1. Objetivos de la prueba. La prueba se realizó con el fin de comprobar el cumplimiento de los siguientes requerimientos de diseño:

Función

- Contiene y soporta el peso de cada planta y su cantidad de tierra.
- Suple a la planta con los elementos necesarios para su crecimiento (espacio, sol, agua)

Uso

- El usuario es capaz de realizar las tareas de cultivo, mantenimiento y cosecha de la planta
- El usuario no realiza grandes esfuerzos y se mantiene seguro al utilizar el producto.
- El usuario entiende y utiliza correctamente el producto.

8.10.1.2. Escenario e instrumentos a utilizar. Para la realización de la prueba, se emuló un escenario similar al que se verá enfrentado el producto, es decir, en un espacio abierto en el cual se recopiló información referente principalmente a la instalación del producto en estas condiciones ambientales y físicas. Al usuario se le entregaron las piezas del producto y las herramientas necesarias para su instalación y uso, a medida que realizó estas tareas se le formularon una serie de preguntas para conocer su opinión acerca del producto.

Locación:

Bosque-Universidad Industrial de Santander

Instrumentos:

- Piezas del producto correspondientes a una torre del sistema de cultivo
- Manual de instrucciones
- 2 Plantas
- Tierra
- Cámara

8.10.1.3. Procedimiento. Una vez ubicado el usuario, las piezas del producto y las herramientas en el contexto de la prueba, se le entregó al usuario las instrucciones de instalación (Anexo 2) del producto para su lectura y proseguir con la construcción.

En una siguiente fase, el usuario debió cultivar dos plantas en los contenedores y ubicarlos en la base superior de la torre.

Durante la realización de éstas dos tareas se filmó al usuario y se le formularon las preguntas correspondientes a la tarea que estaba realizando.

Tareas a realizar por el participante:

1. Lectura de las instrucciones.

2. Instalación de la torre

- Colocar el soporte estructural de la torre (A) sobre el suelo
- Insertar el eje principal (B) entre el soporte
- Colocar la base de los contenedores (C) sobre el soporte (A)
- Deslizar separador (D) por el eje hasta la base (C)
- Colocar la base de los contenedores (E) sobre el separador (D)
- Deslizar separador (F) por el eje hasta la base (E)
- Colocar la base de los contenedores (G) en la cima de la torre

3. Instalación del sistema de riego

- Ubique la manguera central de la torre dentro del eje
- Inserte las secciones de manguera por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado
- Conecte la manguera central a la unión en (T) y conecte la manguera superior del sistema

4. Cultivo de las plantas

- Cultivar 2 plantas en los contenedores

- Ubicar los contenedores en la base superior de la torre

8.10.1.4. Protocolo de preguntas

Lectura del manual de instrucciones

¿Son claras las instrucciones de instalación del producto?

¿Qué herramientas utilizaría?

Instalación

¿Cree Ud. necesaria la ayuda de otra persona para la instalación? ¿Porqué?

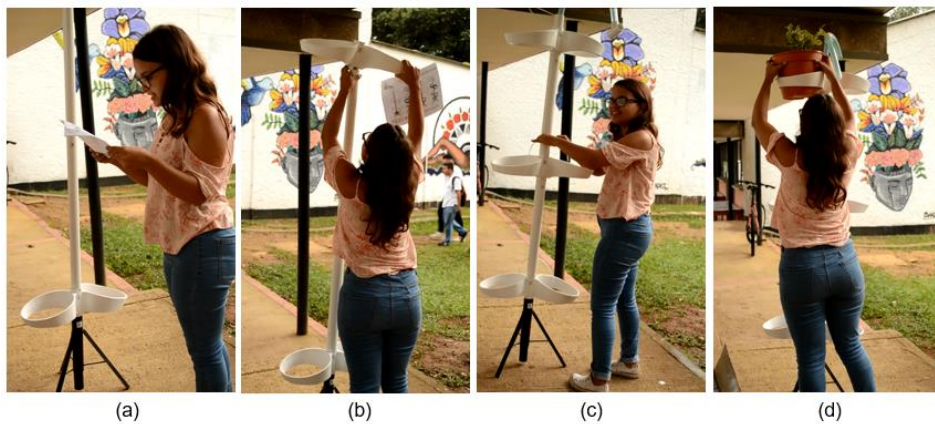
¿Entiende qué lugar le corresponde a cada pieza?

¿Qué tanto esfuerzo físico siente que aplica al construir el producto?

¿Se siente seguro manipulando las piezas del producto y las herramientas que necesita para su armado?

8.10.1.5. Análisis de datos y retroalimentación. El modelo se probó con diferentes tipos de usuario para evaluar factores que determinan la usabilidad y confiabilidad del producto, factores como las dimensiones que influyen en el alcance del usuario a todas las plantas; su seguridad al realizar la instalación del producto y mantenimiento de las plantas; y una comunicación clara del producto.

Figura 99: Ejecución de la prueba



(a) Lectura de las instrucciones, (b) Instalación de la torre, (c) Instalación del sistema de riego, (d) Cultivo de las plantas.

A partir de la reacción de los usuarios durante la ejecución de las tareas y su comportamiento registrado en cámara, se obtuvieron las siguientes observaciones (Tabla 46).

Tabla 46: Observaciones

Lectura de las instrucciones	<ul style="list-style-type: none"> • Las indicaciones fueron claras y permitieron que el usuario comprendiera su uso. • Existen casos en los que el usuario no atiende a las indicaciones del manual de uso, causa por la cual se reitera en el manejo del lenguaje de uso del producto.
Instalación de la torre	<ul style="list-style-type: none"> • La iconografía utilizada para señalar las piezas del producto es adecuada y ayudan al usuario en la correcta instalación del producto. • No en todos los casos la iconografía informó al usuario la dirección que lleva cada pieza dentro del producto. • La forma de las uniones permite unir las piezas unas con otras correctamente. • El usuario es capaz de realizar la instalación sin ayuda de otra persona. • Esta tarea no significó riesgo físico para el usuario
Instalación del sistema de riego	<ul style="list-style-type: none"> • La forma de la torre con relación al sistema de riego permite su fácil instalación y el usuario no cree necesario la utilización de un manual de uso para dicha tarea. • El usuario es capaz de realizar la instalación sin ayuda de otra persona. • Esta tarea no significó riesgo físico para el usuario, sin embargo, si representa riesgo.
Cultivo de las plantas	<ul style="list-style-type: none"> • El usuario entendió fácilmente en qué lugar se ubican las plantas. • La dimensión del producto les permite a todos los usuarios realizar el mantenimiento de las plantas. • El usuario percibe que la estructura es estable y que soporta las cargas ejercidas por los contenedores.

Comprobación

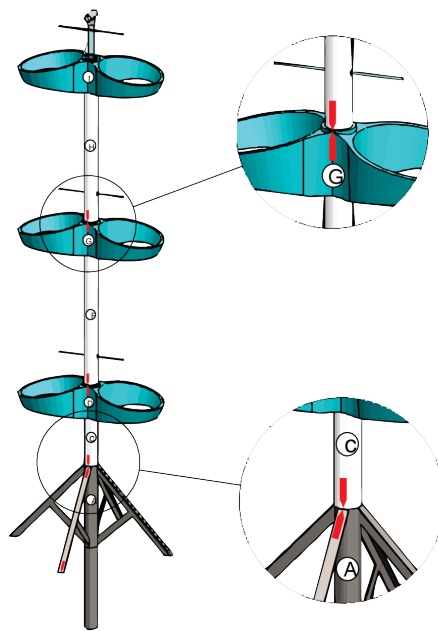
Función

- ✓ Contiene y soporta el peso de cada planta y su cantidad de tierra.
- ✓ Suple a la planta con los elementos necesarios para su crecimiento (espacio, sol, agua)

Uso

- ✓ El usuario es capaz de realizar las tareas de cultivo, mantenimiento y cosecha de la planta
- ✓ El usuario no ejerce grandes esfuerzos y se mantiene seguro al utilizar el producto.
 - El usuario entiende y utiliza correctamente el producto, aunque se hizo necesario mejorar las instrucciones de uso (Anexo 4) y la iconografía señalando cada paso de la instalación del producto (Figura 100).

Figura 100: Rediseño de iconografía



8.11. Evaluación de posturas de trabajo por el método OWAS

Mediante el método OWAS se clasificaron y analizaron las posturas de trabajo realizadas por el usuario durante la ejecución de la secuencia de uso del producto, con el objetivo de evaluar el riesgo de la carga postural en términos de la frecuencia por la gravedad de la postura y así efectuar los cambios pertinentes en el diseño del producto.

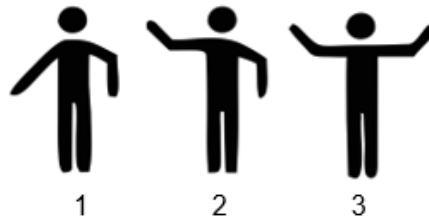
8.11.1. Procedimiento. Se registró al usuario realizando la secuencia de uso del producto en su contexto de uso para tomar todas las posturas corporales y clasificarlas según el método OWAS, el cual cataloga las posturas de trabajo más comunes, y más fácilmente identificables para la espalda, los brazos y las piernas. Esta clasificación consiste en: cuatro posturas para la espalda, tres posturas de brazos, y siete posturas de piernas (figuras 101-103). Así como también el peso de las cargas manejadas o el uso de la fuerza se divide en tres tipos de carga (Figura 104).

Figura 101: Posturas de espalda



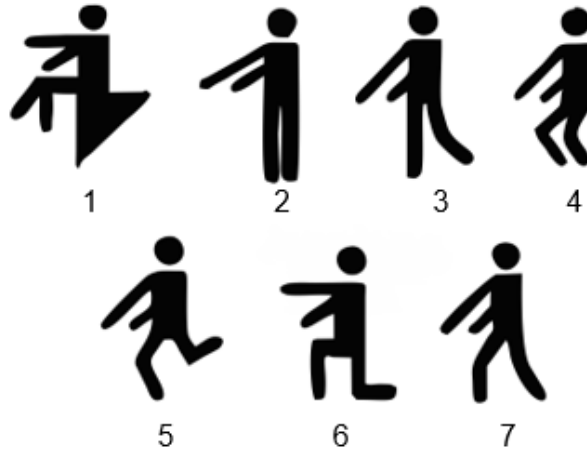
- 1) Recta. 2) Inclínada hacia delante/atrás. 3) Girada o inclinada lateralmente. 4) Inclínada y girada o doblemente inclinada.

Figura 102: Postura de brazos



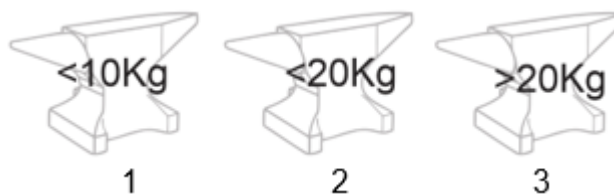
- 1) Ambos brazos por debajo del nivel de los hombros. 2) Un brazo por encima o a nivel del hombro.
3) Ambos brazos por encima o a nivel de los hombros.

Figura 103: Postura de piernas



- 1) Sentado. 2) De pie con las dos piernas rectas. 3) De pie con el peso sobre una pierna recta. 4) De pie con las rodillas flexionadas. 5) De pie con el peso sobre una pierna con la rodilla flexionada. 6) De rodillas sobre una o dos piernas. 7) Caminando.

Figura 104: Tipos de cargas



- 1) Fuerza o carga menor o igual a 10Kg. 2) Fuerza o carga entre 10Kg y 20Kg. 3) Fuerza o carga superior a 20Kg.

Para recoger los datos de las posturas, se realizaron grabaciones de video que el evaluador revisó para clasificar la postura de cada tarea con un código numérico según la posición de la espalda, los brazos, las piernas, y el uso de la fuerza.

El código de postura hallado es una combinación numérica que sirve para categorizar la acción de la postura, que puede encontrarse en 4 niveles diferentes:

Categoría de acción 1

La postura de las diferentes partes del cuerpo y su carga en el sistema musculoesquelético son normales y naturales. La postura de trabajo no necesita ser corregida.

Categoría de acción 2

La postura de las diferentes partes del cuerpo y su carga puede tener un efecto perjudicial en el sistema musculoesquelético. Con el tiempo se deben tomar medidas correctivas para mejorar la postura adoptada en la actividad.

Categoría de acción 3

La postura de las diferentes partes del cuerpo y su carga puede tener un efecto perjudicial en el sistema musculoesquelético. Lo más pronto posible se deben tomar medidas correctivas para mejorar la postura adoptada en la actividad.

Categoría de acción 4

La postura de las diferentes partes del cuerpo y su carga puede tener un efecto perjudicial en el sistema musculoesquelético. Inmediatamente se deben tomar medidas correctivas para mejorar la postura adoptada en la actividad.

La categoría de acción se halló en la tabla del método OWAS que muestra las 252 combinaciones posibles de las posturas de las distintas partes del cuerpo, junto con el uso de la fuerza para la carga manipulada.

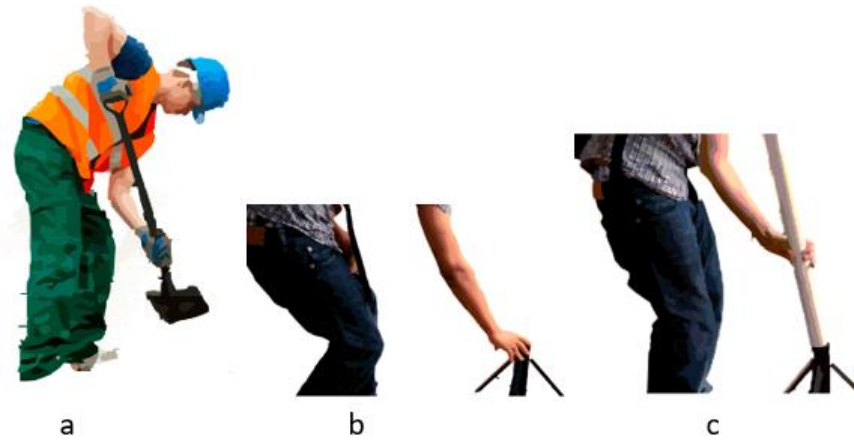
8.11.2. Registro de datos. Se puso a prueba la secuencia de uso del producto con diferentes usuarios y se registró su actividad por medio de video. Dicha secuencia de uso se realizó a partir de la tarea número 3 hasta el cultivo de las plantas (tarea 18). Las tareas 1 y 2 corresponden a un trabajo similar al arado de tierra que se realiza en un cultivo tradicional, con la diferencia de que una vez instalado el sistema de cultivo vertical, la preparación de la tierra no es necesaria hacerla nuevamente.

Y las tareas de mantenimiento y cosecha del cultivo no fueron ejecutadas por el usuario porque el sistema de riego no se encuentra completamente definido y el corte de las plantas en su cosecha es similar a la siembra de las mismas.

Tabla 47: Actividades Fase 1: Preparación del terreno e instalación de estructura principal

N° Tarea	Espalda	Brazos	Piernas	Fuerza	Categoría
1, Trazar los surcos sobre la tierra con 2 metros de distancia entre ellos	2	1	4	2	3
2, Cavar hoyos de 30 cm de profundidad a 60 cm de distancia entre ellos	2	1	4	2	3
3, Colocar el soporte estructural de las torres (A) sobre los hoyos	2	1	4	1	3
4, Insertar los ejes de las torres (B) en el suelo y asegurar la tierra alrededor	2	1	2	1	2
5, Controlar la verticalidad de los ejes (90°)	1	1	2	1	1
Tiempo transcurrido (actividades 3, 4 y 5)					6 min aproximadamente

Figura 105: Posturas fase 1 de la secuencia de uso del producto

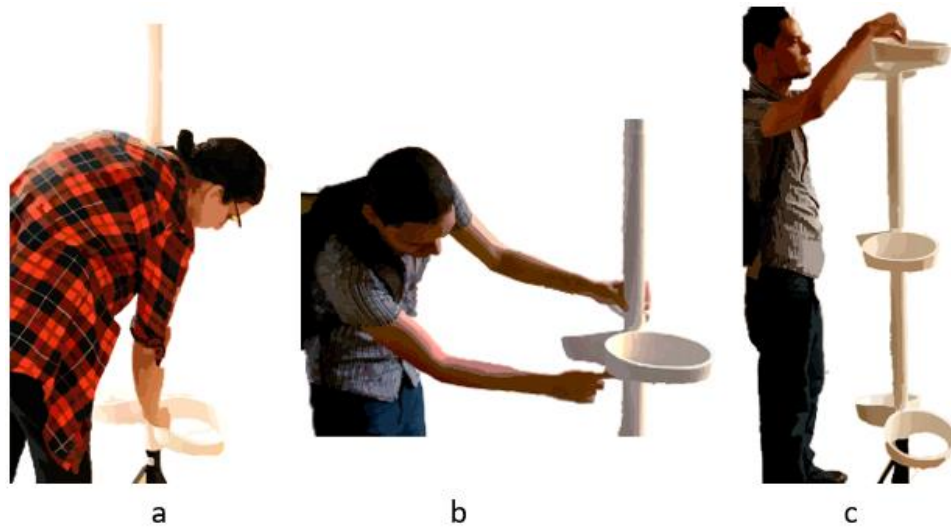


a) Tarea 1 y 2. b) Tarea 3. c) Tarea 4.

Tabla 48: Actividades Fase 2: Instalación de las torres

N° Tarea	Espalda	Brazos	Piernas	Fuerza	Categoría
6, Colocar el tubo separador (C) sobre el soporte estructural (A)	2	1	4	1	3
7, Colocar la base de los contenedores (D) sobre el separador (C)	2	1	4	1	3
8, Deslizar separador (E) por el eje hasta la base (D)	2	1	2	1	2
9, Colocar la base de los contenedores (F) sobre el separador (E)	1	2	2	1	1
10, Deslizar separador (G) por el eje hasta la base (F)	1	2	2	1	1
11, Colocar la base de los contenedores (H) en la cima de la torre	1	3	2	1	1
Tiempo transcurrido	2-3min				

Figura 106: Posturas fase 2 de la secuencia de uso del producto



a) Tarea 7. b) Tarea 9. c) Tarea 11.

Tabla 49: Actividades Fase 3: Instalación del sistema de riego

N° Tarea	Espalda	Brazos	Piernas	Fuerza	Fase
12, Ubique la manguera central de la torre dentro del eje	1	3	2	1	1
13,1 Inserte las secciones de manguera inferiores por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado	2	1	4	1	3
13,2 Inserte las secciones de manguera intermedias	2	3	2	1	2
13,3, Inserte las secciones de manguera superiores	1	3	2	1	1
14, Conecte la manguera central a la unión en (T) y conecte la manguera superior del sistema	1	3	2	1	1
Tiempo transcurrido	4-5min				

Figura 107: Tarea 14 de instalación del sistema de riego



Tabla 50: Actividades Fase 4 Cultivo y mantenimiento

N° Tarea	Espalda	Brazos	Piernas	Fuerza	Categoría
Cultivo					
15, Cultivar plantas en los contenedores	1	1	2	1	1
16,1 Ubicar contenedores en las bases inferiores	2	1	4	1	3
16,2 Ubicar contenedores en las bases intermedias	1	3	2	1	1
16,3 Ubicar contenedores en las bases superiores	1	3	2	1	1
Tiempo transcurrido	2-3min				
Mantenimiento					
17, Activar sistema de riego/ Regar plantas manualmente	-	-	-	-	-
	2	1	4	1	3
18, Verter abono en todas las plantas	1	3	2	1	1
	1	3	2	1	1
Cosecha					
19,1 Corte de cosecha de las plantas inferiores	2	1	6	1	2
19,2 Corte de cosecha de las plantas intermedias	2	3	2	1	2
20, Retirar contenedores superiores	1	3	2	1	1
21, Corte de plantas superiores	2	1	2	1	2
22, Ubicar contenedores nuevamente en la estructura	1	3	2	1	1

Figura 108: Posturas fase 4 de la secuencia de uso del producto



a) Tarea 16,2. b) Tarea 16,3.

En una segunda tabla, se valoró la carga postural para cada una de las zonas corporales en función del porcentaje de tiempo pasado con la espalda, brazos y piernas en cada posición respecto al tiempo total de trabajo.

Tabla 51: Frecuencia de aparición de la postura en cada parte del cuerpo

	Posturas de trabajo	Frecuencia de aparición	Porcentaje de aparición	Categoría de acción
Espalda	1 Recta	14/28	50%	1
	2 Inclínada hacia adelante	14/28	50%	2
	1 Ambos por debajo del nivel de los hombros	14/28	50%	1
Brazos	2 Uno por encima o a nivel del hombro	2/28	7,14%	1
	3 Ambos por encima o a nivel de los hombros	11/28	39,3%	2
	2 De pie con las piernas rectas	19/28	67,85%	1
Piernas	4 De pie con las piernas flexionadas	8/28	28,6%	2
	6 Arrodillado sobre una o dos rodillas	1/29	3,6%	1

8.11.3. Análisis de resultados. Debido a que el producto no requiere de una manipulación frecuente por parte del usuario, se analizaron directamente aquellas actividades cuya categoría de acción llegue a 3 con el fin de examinar la causante de dicha calificación.

Tabla 52: Observaciones de las tareas más críticas de la secuencia de uso

Tarea	Observaciones
1, Trazar los surcos sobre la tierra con 2 metros de distancia entre ellos	Estas actividades similares al arado de la tierra requieren de un nivel de esfuerzo físico medio-alto dependiendo de la extensión de tierra dónde se instalaría el cultivo vertical.
2, Cavar hoyos de 30 cm de profundidad a 60 cm de distancia entre ellos	El usuario necesita utilizar herramientas pesadas (Azadón y pala) para ejecutar el trabajo, lo que incrementa el riesgo de afecciones físicas por la postura que debe adoptar para completar la tarea.
3, Colocar el soporte estructural de las torres (A) sobre los hoyos	Todas las actividades que requieran la manipulación de piezas de la parte inferior del producto requieren de una postura poco natural que puede producir molestia física luego de un periodo prolongado o repetitivo de la tarea.
6, Colocar el tubo separador (C) sobre el soporte estructural (A)	
7, Colocar la base de los contenedores (D) sobre el separador (C)	
13,1 Inserte las secciones de manguera inferiores por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado	
16,1 Ubicar contenedores en las bases inferiores	
18,1 Verter abono en las plantas inferiores	

La manipulación que el usuario tiene sobre del producto se da principalmente en las etapas de instalación que transcurren en menos de una hora, lo que significa que la repetición e impacto de las posturas y cargas maniobradas no representan un peligro significativo en la integridad física del usuario.

8.12. DISEÑO PARA MANUFACTURA

Se debe estimar los costos de producción que representa el material y proceso de manufactura. Estos costos se clasificaron en variables y fijos, en donde los variables dependen del diseñador y optimización en el diseño.

8.12.1. Materia prima

Tabla 53: Costos del material

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ESTRUCTURA			
Tubo cerramiento negro 1" 0,075" X 100cm	1	4.700	4.700
Tubo cerramiento negro 1" 0,075" X 110cm	1	5.400	5.400
Tubo cerramiento negro 1" 0,059" X 8cm	1	300	300
PVC 1 ½" X 48cm	2	2.991	6.000
PVC 1 ½" X 18cm	1	1.087	1.087
PVC 1 ¼" X 10cm	6	565	3.390
BASE ESTRUCTURAL			
Tubo cerramiento negro 1 ½" 0,098" X 30cm	1	2.600	2.600
Ángulo 1/8 x 1" (18cm) X4	4	2.250	2.250
Platina 1/8 x ½" (40cm) X4	4	790	790
Tornillo hexagonal G8 3/8 x2	2	370	740
BASE CONTENEDORES			
Material compuesto 1147.72 gr	3	2.000	7.000
Molde de inyección en aluminio	1	≈2'000.000	
CONTENEDORES			
Contenedor MCH 27 Pöppelmann	6	8.000	48.000
TOTAL			82.557

8.13. IMAGEN CORPORATIVA

Figura 109: Parterre



“Un parterre, conocido vulgarmente como “paterre”, es un diseño de «jardín formal», un jardín a nivel de la superficie del terreno que consiste en plantar lechos de flores o de hierbas delimitados por arriates de plantas perennes o por piedras afiladas acopladas firmemente formando una protección de los lechos florales interiores, y paseos o sendas de grava dispuestas con un diseño generalmente simétrico. Los parterres no precisan tener flores, ya que pueden estar formados exclusivamente por plantas y arbustos perennes.” (57)

Actualmente existe la necesidad de crear entornos donde coexista la diversidad con el fin de mitigar el impacto ambiental que como humanos hemos generado al intervenir los espacios naturales de modo artificial impactando en el equilibrio ambiental, por ello, los jardines o cultivos verticales han ofrecido una opción para reintegrar elementos naturales a los entornos urbanos ya creados. Es por esta razón que se pretende contemplar la evolución del cultivo vertical PARTERRE a una familia de productos que trabajen en función a dicho objetivo, pasando de ser una solución a la optimización de un cultivo específico al diseño de jardines que les den vida a diversas plantas y que contribuya al diseño de espacios agradables y sostenibles.

9. CONCLUSIONES

9.1. HALLAZGOS

Etapa 2: Desarrollo experimental del material compuesto

- Al realizar la conformación del material compuesto utilizando el proceso de aplicación de temperatura se observa que la temperatura utilizada para fundir los polímeros aumenta 60% para el polietileno de baja densidad y 25% para el polipropileno comparada con la temperatura de fusión teórica, esto debido al tamaño que presenta cada material y a la forma en que es aplicada la temperatura.
- Los materiales compuestos ensayados presentaron mejor comportamiento ante las cargas de tensión que ante las cargas de flexión, pero a su vez se observa un comportamiento frágil por falta de un mejor procesamiento que brinde homogeneidad en la mezcla.
- A medida que se aumenta la carga de la fibra en el compuesto los esfuerzos a tensión y flexión disminuyen, pero se observa que se afectan más las propiedades en los compuestos conformados por el polietileno de baja densidad.
- Para este proyecto se propone el uso de un material compuesto conformado por una matriz polimérica reconstituida de polipropileno y reforzado con fibra natural de fique en un 5% de su carga.

Etapa 3 Fase de diseño

Aunque actualmente existe un mercado diverso en lo que a jardines y cultivos verticales se trata, se encontró que no existe un sistema que esté diseñado para soportar una planta con las características de la *lippia organoides*, es por esto que,

a partir del estudio de diferentes principios de diseño utilizados en dichos productos, se diseñó todo el sistema de cultivo vertical en función a los requerimientos de espacio necesarios para el libre crecimiento de la planta.

Con el modelo del producto se verificó el cumplimiento de los requerimientos de diseño mediante comprobaciones digitales y con un modelo de prueba y se encontró lo siguiente:

- Uno de los aspectos principales de este proyecto en donde se sustituye el cultivo tradicional por cultivo vertical es lograr maximizar el espacio con el que se cuenta para el cultivo, con el diseño que se desarrolló a lo largo de este proyecto se logra optimizar hasta 4 veces el espacio de cultivo.
- El ciclo de vida útil de una granja vertical se compone de diferentes factores, pero entre los más importantes se encuentra la resistencia ante las cargas a las que será sometido el producto que son la sumatoria del peso de la tierra y el peso de la planta de cada contenedor, teniendo en cuenta lo anterior se realizó una comprobación utilizando el software SolidWorks para simular las condiciones de cargas, se encontró que bajo los esfuerzos mecánicos a los que se verá expuesto el producto, resiste esfuerzos a tensión de hasta $4.46319e+007 \text{ N/m}^2$. Se llega a desplazar máximo 2.35757 mm correspondiendo a las deformaciones en los puntos críticos del producto, los cuales corresponden a las bases que soportan los contenedores y que son los que sostienen la carga directamente.
- Igualmente, con la propuesta de un material compuesto a base de una matriz polimérica de polipropileno de origen reconstituido reforzado con fibras naturales de 5% de carga, se propone aplicarlo en la pieza principal del producto por el desempeño mecánico que se espera de esta pieza, y la motivación al avance hacia un diseño responsable mediante la reutilización de materias primas.

9.2. LIMITACIONES

Etapa 1: definición de materias primas

- En la industria de la transformación de materiales poliméricos de desecho existen falencias en el proceso de reciclaje mecánico en etapas como la separación en la fuente y clasificación en la planta de tratamiento de los materiales, el cual se realiza manualmente y no se separa cada tipo de polímero rigurosamente lo que más adelante resulta en disminución de las propiedades del material y dificultad de procesamiento.
- Además, en el mercado disponible en el área metropolitana de Bucaramanga, se encontró que el polímero reconstituido se dispone para su comercialización luego de un proceso de molienda que genera trozos de material de un tamaño de hasta 10 cm que dificultó el flujo de fundido en el procesamiento del material.

Etapa 2: Desarrollo experimental del material compuesto

- Un aspecto por mejorar es el método de procesamiento del material ya que en este caso se utilizó un horno de cerámicos que no está acondicionado para el procesamiento de polímeros y dificulta la consolidación de un material homogéneo, sin embargo, diferentes investigaciones indican que cuando se trata de un material compuesto termoplástico reforzado con fibras, el método más eficiente es la extrusión.

Etapa 3 Fase de diseño

- Ya que el proyecto en el que se requiere la utilización del cultivo vertical en cuestión está en la primera etapa de desarrollo, se tuvo que tener presente diferentes limitaciones en cuanto a los costos de construcción y de mantenimiento para la entidad que gestiona el proyecto como para el público al que va dirigido.

No se conoce el comportamiento de la planta en un espacio reducido como lo es un contenedor o maceta, por ello se trabajó con dimensiones aproximadas a los que tiene la planta en un cultivo tradicional, en el cual cuenta con más espacio de crecimiento para sus raíces.

10.RECOMENDACIONES

- Es importante realizar un trabajo que analice el comportamiento de la *lippia origanoides* en un espacio diferente al del cultivo tradicional ya que su crecimiento se encuentra altamente influenciado por el espacio de tierra en el cual se desarrolla.
- El sistema de riego es uno de los elementos principales del cultivo, aunque como vimos a lo largo de este proyecto una planta de orégano de monte necesita una cantidad mínima de 250 ml cada 48 horas y también se aprovecha del agua lluvia si las condiciones climáticas lo permiten; por ello es necesario ajustar el riego en una segunda etapa de este proyecto. Ya que su diseño se basa principalmente en la definición del espacio de cultivo, cantidad de plantas y tipo de tierra a utilizar entre otros, es por esto que el sistema de bombeo, conexión y almacenamiento de agua, variables que no fueron definidas para este proyecto²

Para finalizar, se pretende contemplar la evolución del cultivo vertical PARTERRE a una familia de productos que trabajen en función a dicho objetivo, pasando de ser una solución a la optimización de un cultivo específico al diseño de jardines que les den vida a diversas plantas y que contribuya al diseño de espacios agradables y sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

1. GUERRERO, Victor., DÁVILA, Jose and PONTÓN, Patricia. *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Quito, Ecuador : Editorial Imprefepp, primera edición., 2011.
2. Ministerio de Justicia Y Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito. *Monitoreo de Cultivos de Coca 2014*. Colombia : s.n., 2015.
3. STRACHENKO, Elena. *Aceites Esenciales*. Bucaramanga, Colombia. : Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales - CENIVAM. Universidad Industrial de Santander. Primera edición., 2009.
4. BURAGLIA, Mariana., ALARCÓN, Diana and TRIANA, Mónica. *Jardines verticales y sistemas botánicos en entornos urbanos*. Bogotá, Colombia : Revista más D vol. 5, edición N°09. Facultad de Diseño, Imagen y Comunicación - Universidad El Bosque., 2011.
5. VÁSQUEZ, Diana. *El orégano de monte (Lippia origanoides) del Alto Patía: Efecto del método de obtención de sus extractos sobre la composición y la actividad antioxidante de los mismos*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2012.
6. ARCILA, Cinthya, et al. *El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes*. México : Universidad Autónoma de Querétaro, 2004.
7. RAMOS, Marco and BÁEZ, Darío. *Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón cevallos*. RIOBAMBA – ECUADOR : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.

8. STUPENENGO, Franco. *Materiales-compuestos: Capitulo 10 Materiales Y Materias Primas.* . Argentina : Ministerio de Educación, 2011.
9. BARBERO, Ever. *Introduction to composite materials design.* Estados Unidos : CRC Press, 2da Edición., 2011.
10. MEJÍA, Beatriz and OSORIO, Ana. *Desarrollo de un material compuesto a base de gasca de plátano del Urabá antioqueño y su aplicación en un producto de innovación para el sector mobiliario doméstico.* Medellín, Colombia. : Universidad EAFIT., 2006.
11. MUÑOZ, Mario., HIDALGO, Miguel and MINA, Jose. *Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos.* Cali, Colombia. : Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 12 No. 2 (60-70) Julio - Diciembre 2014, 2012.
12. MOHANTY, Amar, MISRA, Manjusri and LAWRENCE, Drzal. *Natural fibers, biopolimers and biocomposites.* Estados Unidos : Taylor & Francis Group 2009, 2005.
13. PINILLA, Angie and VELOZA, Laura. *Fibras naturales y biocomposites.* Tunja, Colombia. : Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, 2010.
14. Aluna Consultores Ltda. *Aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas.* Bogotá : s.n., Abril, 2011.
15. Alcaldía de Bucaramanga. *PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, PGIRS 2016 – 2027.* s.l. : CONTRATO N° 386 , 2015.
16. ORDOÑEZ, Consuelo. *Disposición de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.* Bucaramanga : Subdirección Ambiental Metropolitana. AMB., 2013.
17. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. *Sector Plásticos- Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo,*

aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá : Guías Ambientales, 2004.

18. CAMVHIL S.A.S. and CENIVAM-UIS, Centro de estudios e investigaciones ambientales. *Caracterización de los residuos sólidos generados en el municipio de Bucaramanga*. Bucaramanga : s.n., 2015.

19. Medio Ambiente y Cambios Climáticos. *Cooperativa de Trabajo Asociado Reciclaje y Servicios Coopreser Ltda*. Colombia : s.n., 2009.

20. Replasander. Replasander. [Online] 2014. www.replasander.com.

21. Faplasher. [Online] <http://www.faplasher.com>.

22. RODRIGUEZ, Lady. *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia., 2014.

23. MOJICA, Almicar and PAREDES, Joaquin. *El cultivo del fique en el departamento de santander*. s.l. : Centro regional de estudios economicos Bucaramanga (cree)., 2004.

24. GUPTAA, M, SRIVASTAVAA., R and BISARIAA , H. *Potential of Jute Fibre Reinforced Polymer Composites: A Review*. . India. : Motilal Nehru National Institute of Technology Allahabad, 2015.

25. LUNA , G, VILLADA, H and VELASCO, R. *Almidón termoplástico de yuca reforzado con Fibra de fique: preliminares*. s.l. : Universidad del Cauca., 2009.

26. HACHI, José and RODRÍGUEZ, Juan. *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador. : s.n., 2010.

27. PARK, Sang Ho and KIM, Seong Hun. *Poly (ethilene terephthalate) recycling for high value added textiles*. 2014.

28. *Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, reforzados con fibra vegetal tetera*. CÓRDOBA, Carlos, et al. Diciembre 2010, Revista Iberoamericana de Polímeros.

29. TUKKER, A. *Comparing feedstock recycling of plastics waste to mechanical recycling methods*. Holland : s.n., 2002.
30. VANEGAS, Jorge. *Boletín técnico para las resinas de polietileno de baja densidad*. s.l. : Poliefinas Colombianas S.A. Empresa Colombiana de Petróleos.
31. JARAMILLO, Lady. *Obtencion de un material biocompuesto a base de una matriz polimerica y reforzada con fibras de guadua*. 2013.
32. VALAREZO, Luis. *Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de guadua angustifolia proveniente del Ecuador*. 2013.
33. ASTM International. D638-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics . United States : s.n.
34. STARK, Nicole and ROWLANDS, Robert . *Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites*. Madison, United States. : University of Wisconsin , 2002.
35. ALVAREZ, Victor. *DESEMPEÑO MECÁNICO DE MATERIALES COMPUESTOS TERMOPLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES PARA ROTOMOLDEO*. SANTIAGO DE CALI : UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE. , 2014.
36. DELVASTO, Silvio , PERDOMO, Fernando and MEJÍA, Ruby . *Ecolaminados de PEAD-fibras de fique*. s.l. : Universidad del Valle, 2001.
37. ÁLVAREZ, Victor. *Desempeño mecánico de materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibras naturales para rotomoldeo*. Cali, Colombia : Universidad Autónoma de Occidente., 2014.
38. Textos Científicos. [Online] Julio 2005.
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>.
39. GÓMEZ, Andrés. Censo Agropecuario: Campesinos no lograron acceder a créditos. *el campesino.co*. Agosto 12, 2015.

40. Alcaldía de Socorro. Información general del municipio de Socorro. [Online] Septiembre 12, 2016. http://www.socorro-santander.gov.co/informacion_general.shtml#geografia.
41. Instituto De Educación Secundaria les Rey Alabez. El huerto escolar. [Online] <https://sites.google.com/site/losbuenoshortelanos/home/las-herramientas>.
42. CENIVAM . CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA LA AGROINDUSTRIALIZACIÓN DE ESPECIES VEGETALES AROMÁTICAS Y MEDICINALES TROPICALES - CENIVAM. [Online] <http://cenivam.uis.edu.co/cenivam/>.
43. BARIBBI, Aimo and SPIJKERS, Piet. *Campesinos, tierra y desarrollo rural*. Bogotá : Asistencia Técnica Internacional del Tercer Laboratorio de Paz, 2011.
44. MARTÍNEZ-RESTREPO, Susana, PERTUZ, María Cecilia and RAMÍREZ, Juan Mauricio. La situación de la educación rural en Colombia, los desafíos del posconflicto y la transformación del campo. [Online] mARZO 18, 2016. <https://compartirpalabramaestra.org/alianza-compartir-fedesarrollo/la-situacion-de-la-educacion-rural-en-colombia-los-desafios-del>.
45. IDÁRRAGA, Gustavo. El Universal. *El campesino colombiano*. [Online] Septiembre 6, 2013. <http://www.eluniversal.com.co/opinion/buzon/el-campesino-colombiano-39>.
46. PEÑUELA, María. *Granja vertical piloto para el cultivo de plantas aromáticas en el centro de investigaciones CENIVAM. Diseño y fabricación*. Bucaramanga, Colombia. : Universidad Industrial de Santander, 2012.
47. Natures Distributing Inc. Natures Distributing Inc. [Online] <http://www.naturesdistributinginc.com/products/commercial-growing-systems/>.
48. ©Vertical Gardening Systems. vertical gardening systems. [Online] 2017. <http://verticalgardeningsystems.com>.

49. ©VertiCropTM. VertiCrop. [Online] 2015. <http://grow.verticrop.com/vertical-farming/>.
50. GreenTowers, LLC. Greentowers. [Online] 2016. <https://www.greentowersusa.com/vertical-farm/c80tyj9hfzhtrrrd4b10xgogb7ni16>.
51. NATUREHYDRO. Alibalba.com. [Online] <http://www.naturehydro.com/>.
52. The Juice Plus+ Company , LLC. TOWER GARDEN. [Online] 2015. <http://www.towergarden.com>.
53. Tower Garden. Youtube. *Vertical Aeroponic Technology: See How Tower Garden® Works.* [Online] Oct 30, 2012. <https://www.youtube.com/watch?v=l7EzYmO9u8M&t=7s>.
54. SANTIAGO, Juan and ROUSSOS, Andrés. *Documentos de Trabajo El focus group como técnica de investigación cualitativa.* Buenos Aires, Argentina : Universidad de Belgrano, 2010.
55. ©SunEarthTools. SunEarthTools.com. [Online] 2009-2017 . http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#chartC.
56. ZÚÑIGA, Yoltic. *Sistema de Riego por Goteo Energizado con Módulos Solares.* s.l. : TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, 2014.
57. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos.* AMFE. España : s.n., 2004.
58. BARTOLOMÉ, Santiago. El tiempo en Valdelubiel. *Blogspot.* [Online] <http://ecovaldelubiel.blogspot.com.co/2013/06/siembra-de-alubia-verde.html>.
59. SolidWorks Corporation. SolidWorks Sustainability. s.l. : ©2017 Dassault Systèmes, 2017.
60. wikipedia. [Online] Julio 23, 2017. <https://es.wikipedia.org/wiki/Parterre>.

61. MUZZY, John. *FIBER-REINFORCED RECYCLED THERMOPLASTIC COMPOSITE AND METHOD*. Estados Unidos : Patente US 6,756,412 B2. Geogla composites' Inc" Atlanta', 2004.
62. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Guías Ambientales: Sector Plásticos- Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Bogotá, Colombia. : s.n., 2004. .
63. RODRIGUEZ, Lady. *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Bogotá, Colombia. : Universidad Nacional de Colombia, 2014.
64. MEJÍA, Beatriz and OSORIO, Ana Patricia. *Desarrollo de un material compuesto a base de guasca de plátano del urabá antioqueño y su aplicación en un producto de innovación para el sector mobiliario doméstico*. 2006.

ANEXOS

ANEXO A. Análisis estático



Simulación de torre para análisis

Fecha: domingo, 9 de julio de 2017

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático



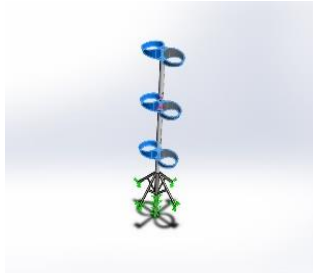
Unidades


Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de estudio

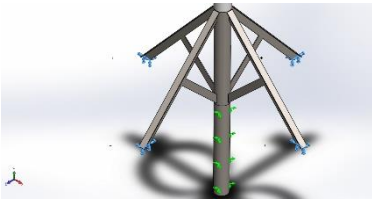
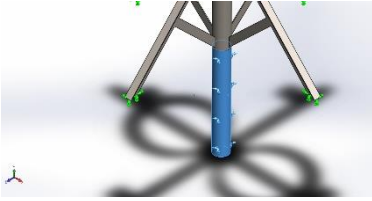
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (D:\Desktop\MODELO\BASE CONTENEDORES)

Propiedades de material

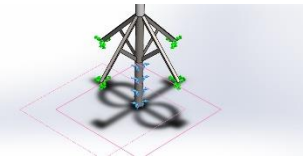
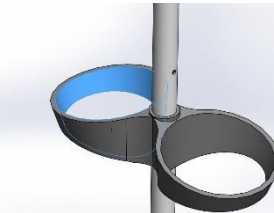
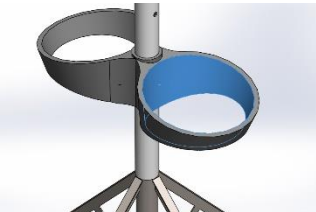
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 1010 Barra de acero laminada en caliente</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.8e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3.25e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7870 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Soporte estructural),</p> <p>Sólido 2(Eje sección 1),</p> <p>Sólido (Eje sección 2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: PP Copolymer</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite de tracción: 2.76e+007 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 8.96e+008 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.4103</p> <p>Densidad: 890 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 3.158e+008 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Base 1),</p> <p>Sólido 2(Base 2),</p> <p>Sólido 3(Base 3)</p>
Datos de curva:N/A		

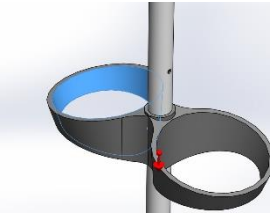
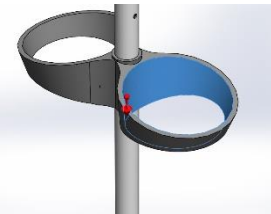
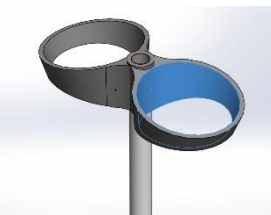
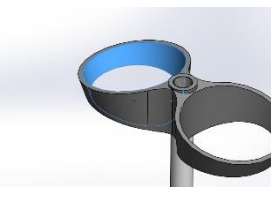
	Nombre: PVC Rígido Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite de tracción: 4.07e+007 N/m ² Módulo elástico: 2.41e+009 N/m ² Coeficiente de Poisson: 0.3825 Densidad: 1300 kg/m ³ Módulo cortante: 8.667e+008 N/m ²	Sólido 1(Separador 1), Sólido 1(Separador 2), Sólido 1(Separador 3)
	Datos de curva:N/A	

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción			Detalles de sujeción
Fijo-1				Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.197605	170.086	-0.298904	170.086
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0
Sobre caras cilíndricas-1				Entidades: 1 cara(s) Tipo: Sobre caras cilíndricas Traslación: 0, 0 rad., 0 Unidades: mm
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.187082	510.797	0.300296	510.797

Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0
---------------------------------	---	---	---	---

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Gravedad-1		Referencia: Top Plane Valores: 0 0 -9.81 Unidades: SI	
Masa distribuida-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa) Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales Masa remota: 10 kg Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m ² Componentes transferidos: NA	
Masa distribuida-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa) Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales Masa remota: 10 kg Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m ² Componentes transferidos: NA	

<p>Masa distribuida-3</p>		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales</p> <p>Masa remota: 10 kg</p> <p>Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m²</p> <p>Componentes transferidos: NA</p>
<p>Masa distribuida-4</p>		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales</p> <p>Masa remota: 10 kg</p> <p>Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m²</p> <p>Componentes transferidos: NA</p>
<p>Masa distribuida-5</p>		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales</p> <p>Masa remota: 10 kg</p> <p>Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m²</p> <p>Componentes transferidos: NA</p>
<p>Masa distribuida-6</p>		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales</p> <p>Masa remota: 10 kg</p> <p>Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m²</p>

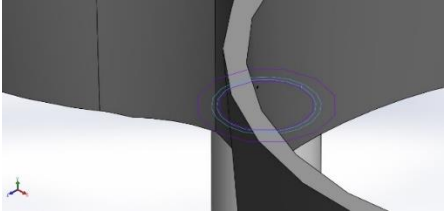
		Componentes transferidos:	NA
--	--	----------------------------------	----

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-1		Tipo: Sin par de contacto de penetración Entidades: 2 cara(s) Avanzado: Nodo a superficie

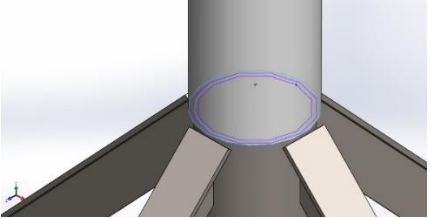
Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	1.6515E-015	25.421	4.6334E-015	2.

Contacto-2		Tipo: Sin par de contacto de penetración Entidades: 2 cara(s) Avanzado: Nodo a superficie
-------------------	---	--

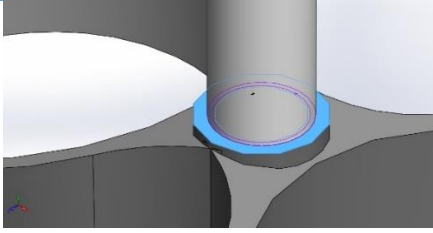
Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	0	2.3803E-013	0	2.38

Contacto-3		Tipo: Sin par de contacto de penetración Entidades: 2 cara(s) Avanzado: Nodo a superficie
-------------------	---	--

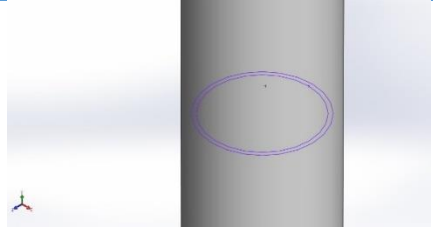
Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	-0.0069155	0.00017464	-0.16458	0.

Contacto-4		<p>Tipo: Sin par de contacto de penetración</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Avanzado: Nodo a superficie</p>
-------------------	---	--

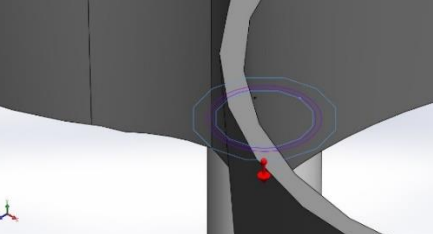
Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	0	1.6431E-013	0	1.64

Contacto-5		<p>Tipo: Sin par de contacto de penetración</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Avanzado: Nodo a superficie</p>
-------------------	---	--

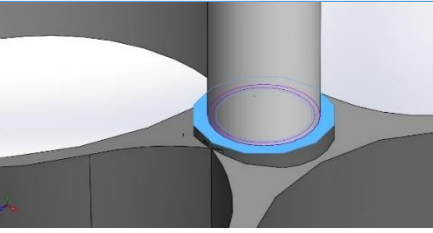
Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	0	-1.0854E-014	0	1.08

Contacto-6		<p>Tipo: Sin par de contacto de penetración</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Avanzado: Nodo a superficie</p>
-------------------	---	--

Fuerza de contacto/rozamiento

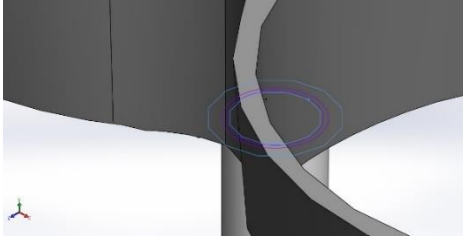
Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	0	-9.7256E-014	0	9.72

Contacto-7		<p>Tipo: Sin par de contacto de penetración</p> <p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Avanzado: Nodo a superficie</p>
-------------------	---	--

Fuerza de contacto/rozamiento

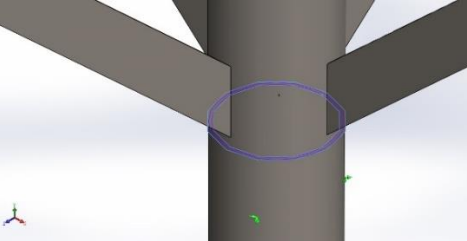
Componentes	X	Y	Z	Res
-------------	---	---	---	-----

Fuerza de contacto(N)	0	-2.6812E-013	0	2.6812E-013
------------------------------	----------	---------------------	----------	--------------------

Contacto-8		Tipo: Sin par de contacto de penetración
		Entidades: 2 cara(s)
		Avanzado: Nodo a superficie

Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	0	-1.5055E-013	0	1.50

Contacto-9		Tipo: Sin par de contacto de penetración
		Entidades: 2 cara(s)
		Avanzado: Nodo a superficie

Fuerza de contacto/rozamiento

Componentes	X	Y	Z	Res
Fuerza de contacto(N)	-0.0037169	-2.3007E-008	0.00011859	0.0

Información de malla


Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	28.0571 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.40286 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

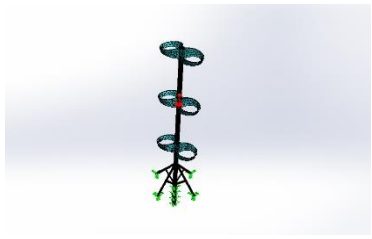



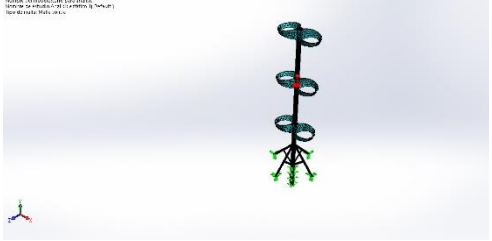
Información de malla – Detalles

Número total de nodos	1325535
Número total de elementos	685976
Cociente máximo de aspecto	69.487
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0344
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:01:08
Nombre de computadora:	



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-5		Entidades: Eje sección 1 Unidades: mm Tamaño: 2 Coeficiente: 1.5

<p>Control-6</p>		<p>Entidades: Eje sección 2 Unidades: mm Tamaño: 3 Coeficiente: 1.5</p>
<p>Control-7</p>		<p>Entidades: Soporte 1 Unidades: mm Tamaño: 3 Coeficiente: 1.5</p>
<p>Control-8</p>		<p>Entidades: Soporte 2 Unidades: mm Tamaño: 3 Coeficiente: 1.5</p>
<p>Control-9</p>		<p>Entidades: Soporte 3 Unidades: mm Tamaño: 3 Coeficiente: 1.5</p>
<p>Control-10</p>		<p>Entidades: Soporte estructural Unidades: mm Tamaño: 3 Coeficiente: 1.5</p>

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

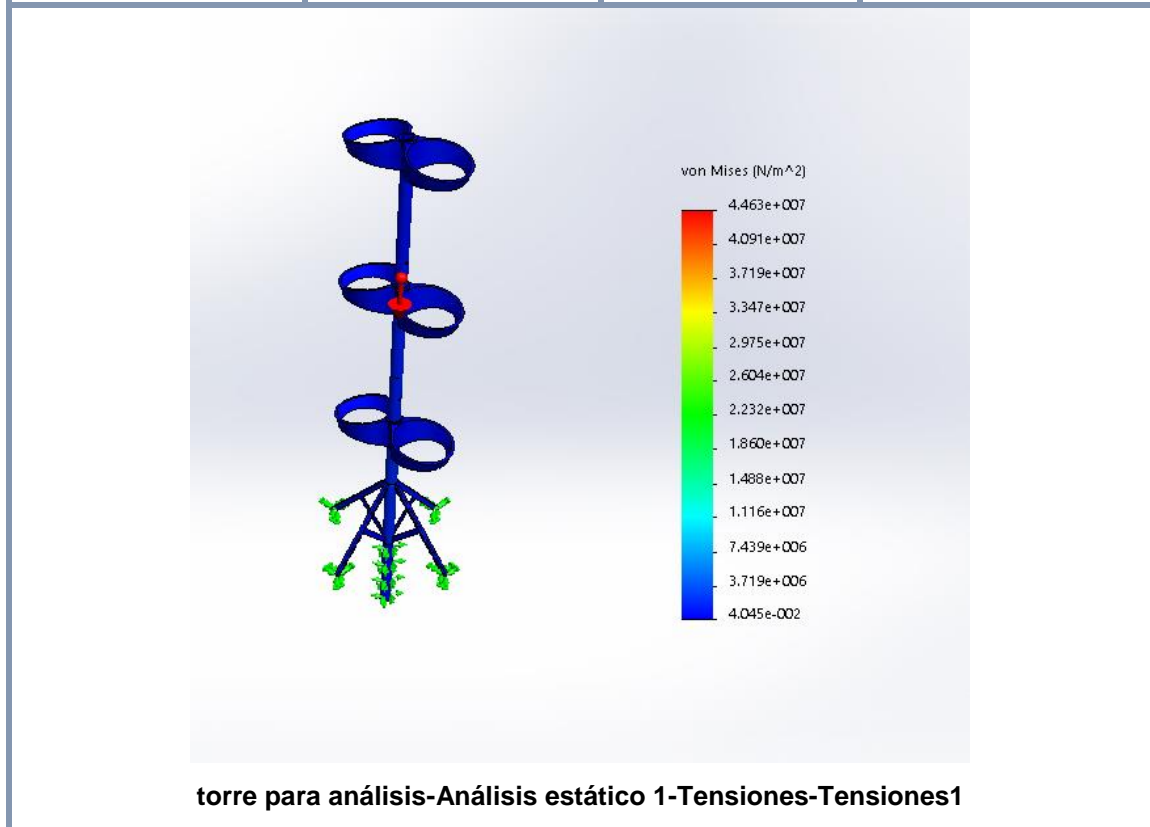
Conjunto de selecciones	de	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo		N	-0.0105233	680.896	0.00139111	680.896

Momentos de reacción

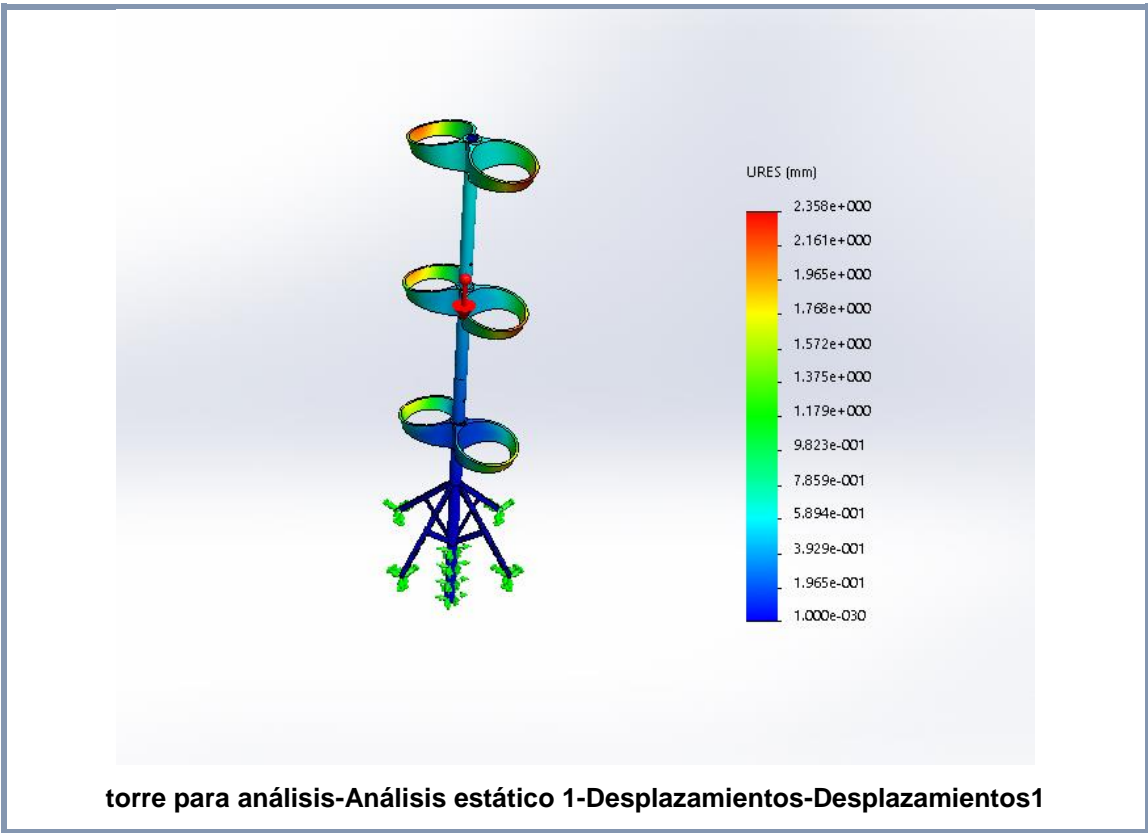
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio

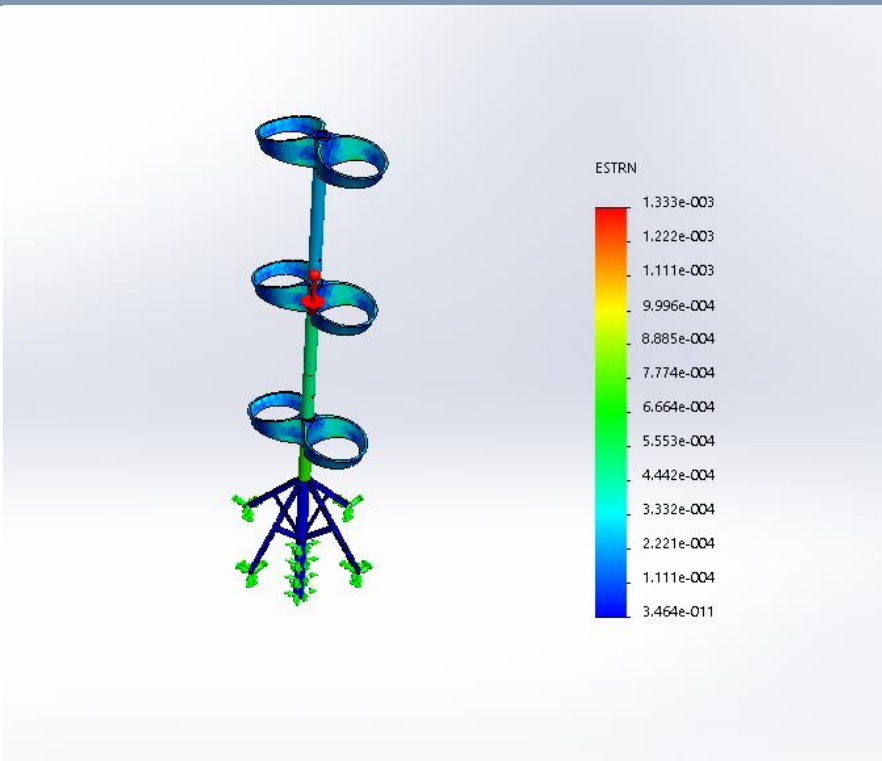
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.0404462 N/m ² Nodo: 321255	4.46319e+007 N/m ² Nodo: 35232



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 14	2.35757 mm Nodo: 207748

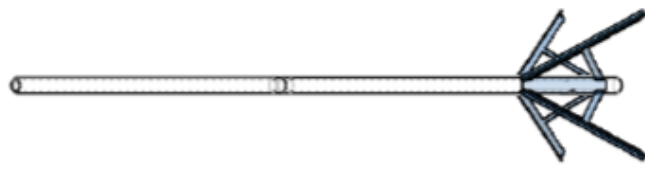


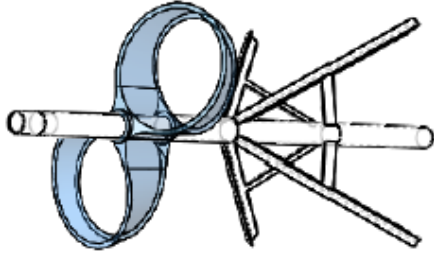
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.46383e-011 Elemento: 140950	0.00133275 Elemento: 655727

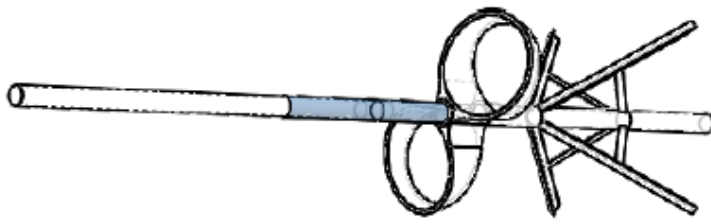


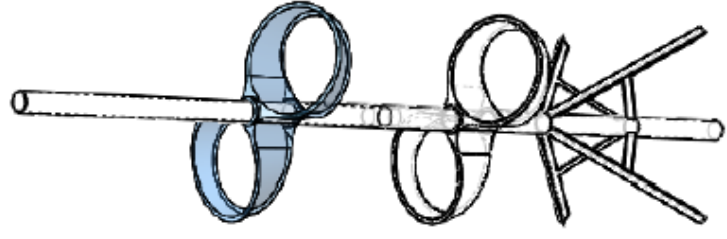
torre para análisis-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

- 

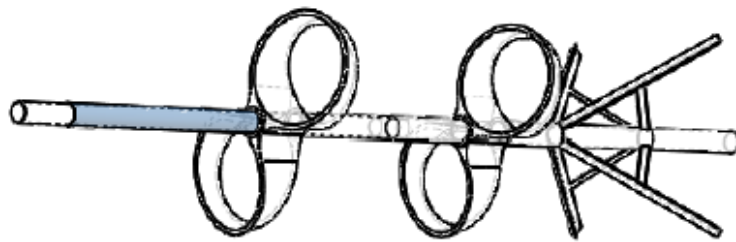
1 Ubique la base sobre el suelo e inserte el eje estructural
- 

2 Ubique un soporte apuntando en dirección oriente-occidente.
- 

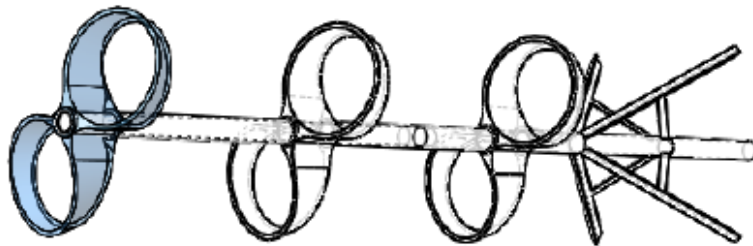
3 Deslizar separador (S1) por el eje hasta el soporte.
- 

4 Ubique el siguiente soporte siguiendo la dirección del anterior

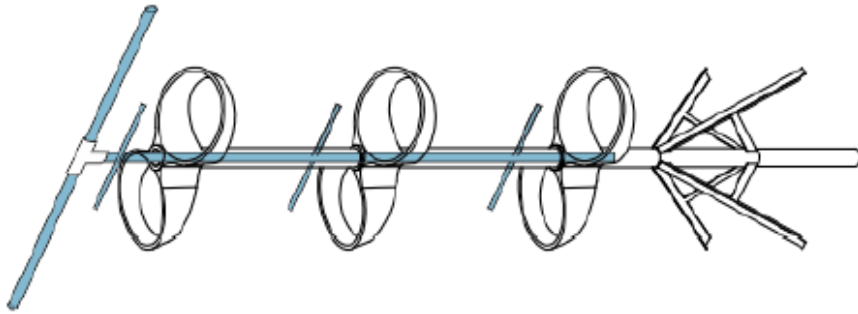
CULTIVO VERTICAL
PARTERRE



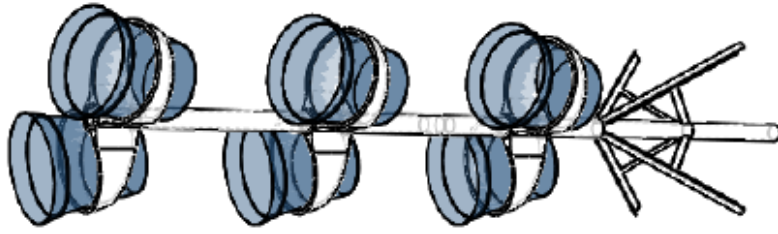
5 Inserte el separador (S2) hasta el soporte



6 Ubique el último soporte siguiendo la dirección del anterior

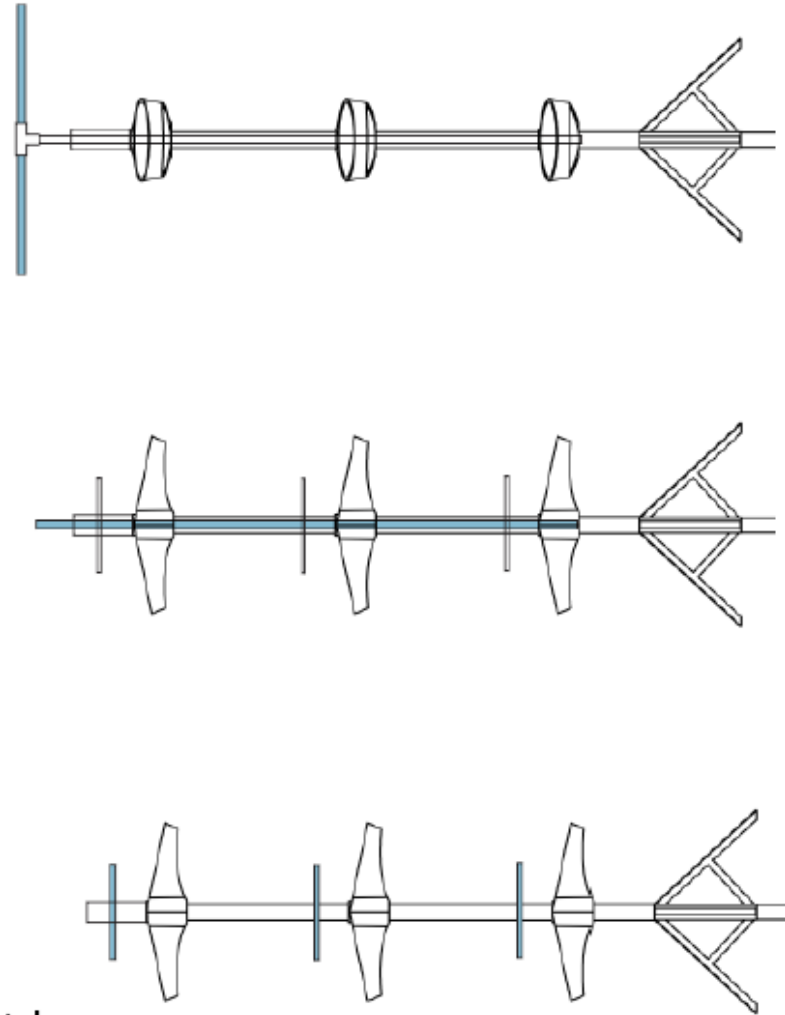


7 Continúe con la instalación del sistema de riego



8 Cultivar y ubicar contenedores sobre los soportes.

⑦ INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO




① Inserte las secciones de manguera por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado

② Ubique la manguera de mayor longitud dentro del eje

③ Conecte la manguera principal a la unión en (T) y conecte las dos secciones restantes

ANEXO C. Informe de sustentabilidad

	
--	---

	<p>Nombre del modelo: base doble</p> <p>Material: PP Copolymer</p> <p>Contenido reciclado: 90 %</p> <p>Peso: 1147.72 g</p> <p>Proceso de fabricación: Moldeo por inyección</p> <p>Área de superficie: 2.43E+5 mm²</p> <p>Construido para durar: 10 year</p> <p>Utilización durante: 10 year</p>

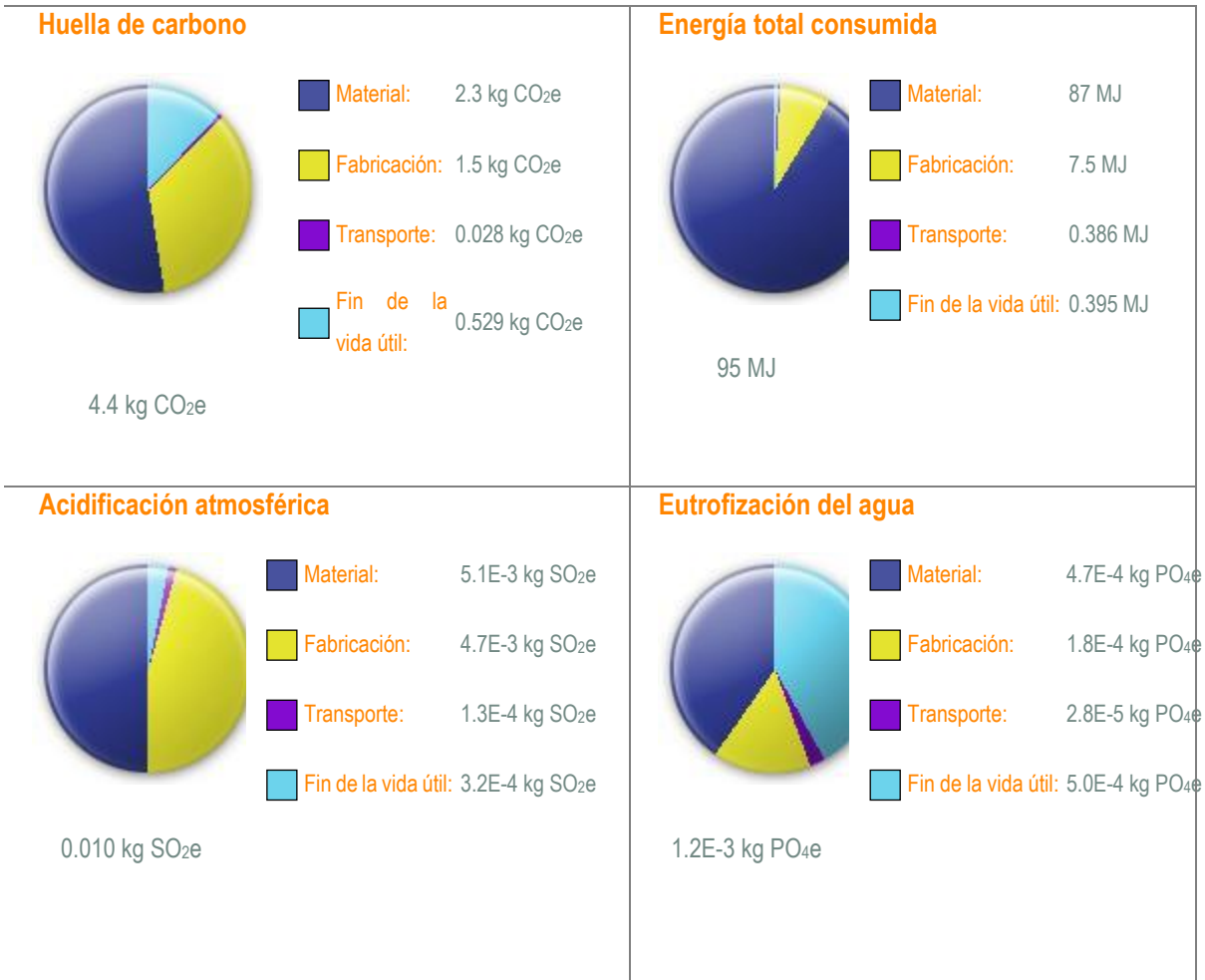
Nombre del modelo:	Material:	PP Copolymer	Peso:	1147.72 g
			Área de superficie:	2.43E+5 mm ²
			Proceso de fabricación:	Moldeo por inyección
	Contenido reciclado:	90 %	Construido para durar:	10 year
			Utilización durante:	10 year

Material PP Copolymer 90 %

Coste de la unidad de material 1.80 USD/kg

<p>Fabricación</p> <p>Región: South America</p> <p>Proceso: Moldeo por inyección</p> <p>Consumo de electricidad: 1.9 kWh/lbs</p> <p>Consumo de gas natural: 0.00 BTU/lbs</p> <p>Tasa de desecho: 2.0 %</p> <p>Construido para durar: 10 year</p> <p>Pieza pintada: No Paint</p>	<p>Utilización</p> <p>Región: South America</p> <p>Utilización durante: 10 year</p>
<p>Transporte</p> <p>Distancia en camión: 500 km</p> <p>Distancia en tren: 0.00 km</p> <p>Distancia en barco: 0.00 km</p> <p>Distancia en avión: 0.00 km</p>	<p>Fin de la vida útil</p> <p>Reciclado: 50 %</p> <p>Incinerado: 18 %</p> <p>Vertedero: 32 %</p>

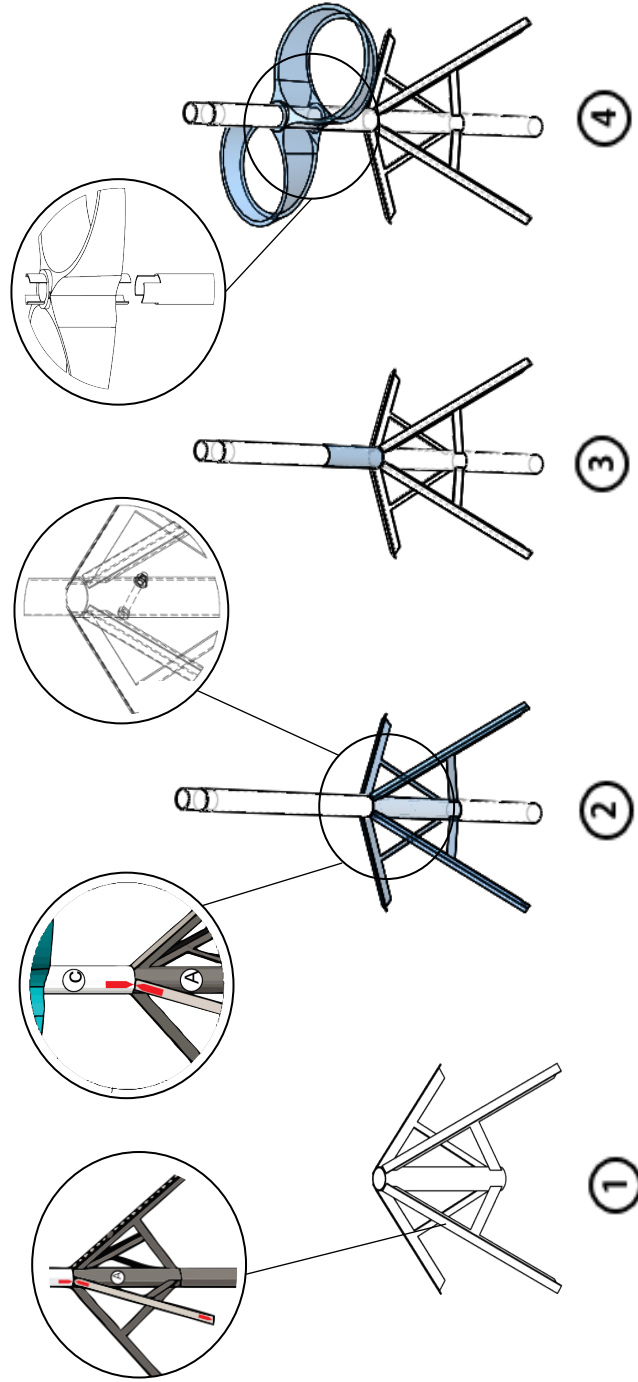
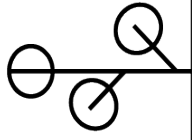
Impacto medioambiental (calculado mediante la metodología de evaluación de impacto CML)



Impacto financiero de los materiales 3.20 USD

ANEXO D. Manual de instrucciones

INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

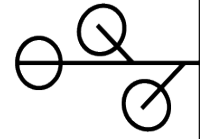


1 Ubique el soporte (A) sobre el suelo ubicando la línea roja en dirección Norte-Sur

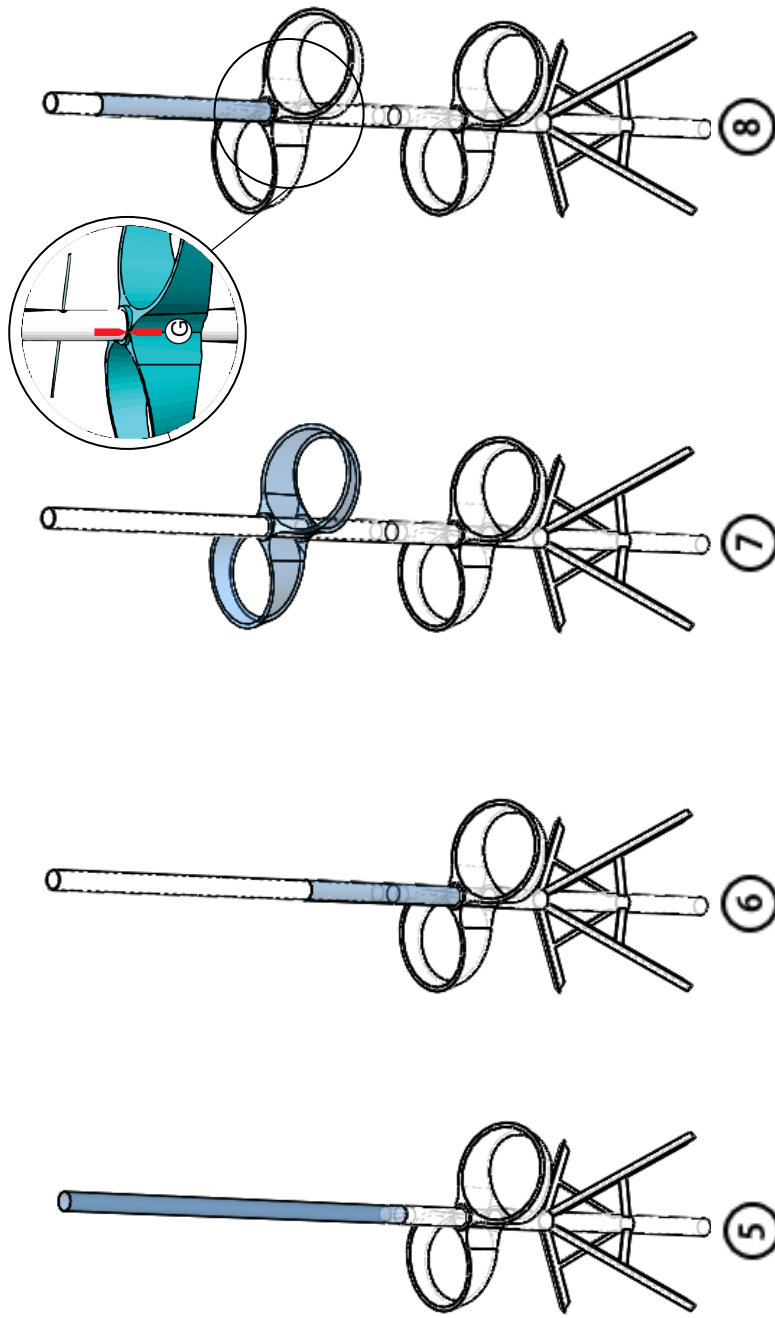
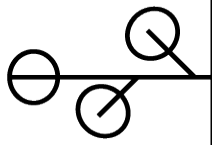
2 Inserte el eje estructural (B) alineándolo con la línea roja del soporte (A) y ajústelo con el tornillo

3 Deslice separador (C) por el eje hasta el soporte.

4 Ubique la base (D) sobre el soporte encajando la unión



INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

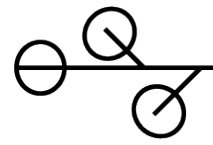


5 Inserte el eje estructural (E) encima del eje (B)

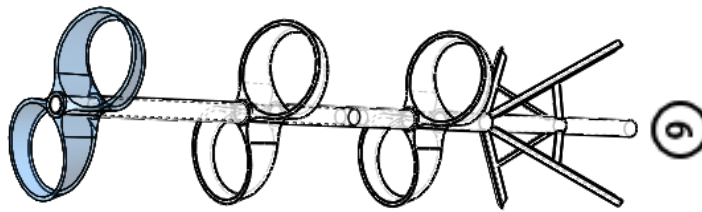
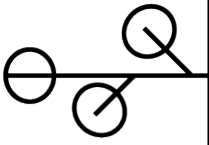
6 Ubique el separador (F) sobre la base (D) encajando la unión.

7 Deslizar la base (G) por el eje hasta el soporte.

8 Ubique el siguiente separador (H) hasta la base

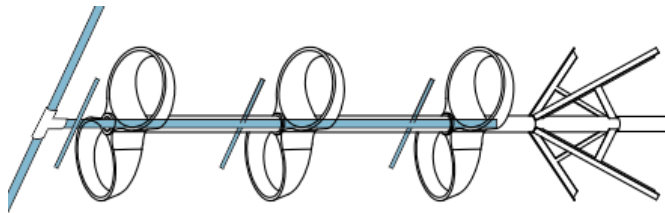


INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN



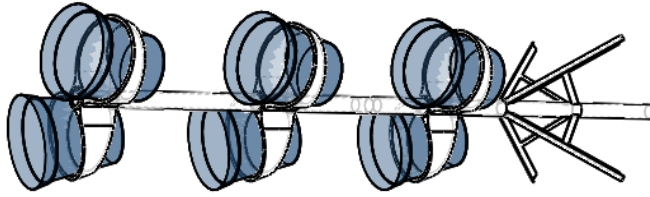
9

Ubique la última base (I) sobre el soporte



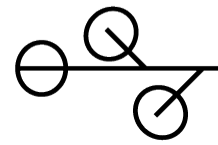
10

Continúe con la instalación del sistema de riego

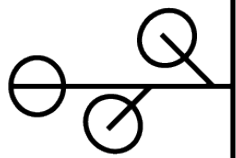


11

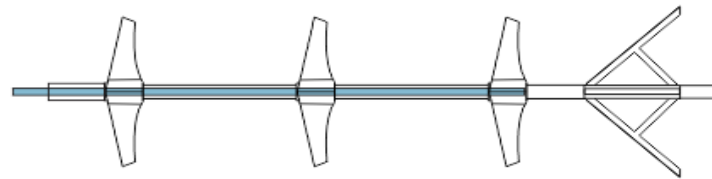
Cultive y ubique los contenedores sobre las bases.



INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

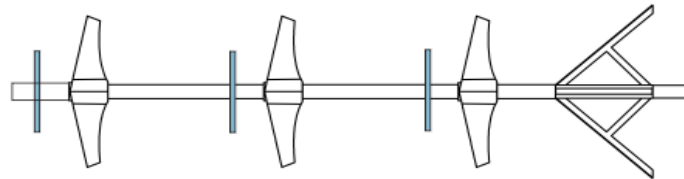


SISTEMA DE RIEGO



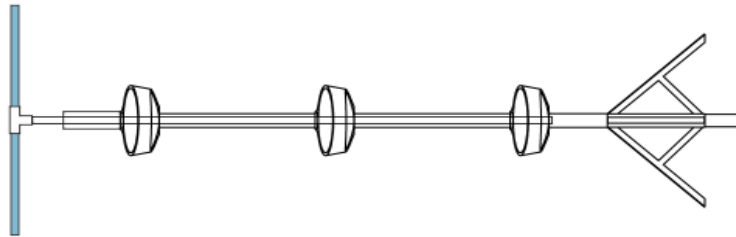
①

Ubique la manguera de central dentro del eje de la torre



②

Inserte las secciones de manguera por los orificios del eje dejando la misma medida por lado y lado



③

Conecte la manguera central a la unión en (T) y conecte la manguera superior del sistema

