



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO DE ESTRUCTURA Y SUBESTRUCTURA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INVERNADERO  
DE DOS HUERTAS COMUNITARIAS EN LA  
COMUNA 1 DE MEDELLÍN**

Autor

Katherine Ochoa Cárdenas

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Medellín, Colombia  
2020



Diseño de estructura y subestructura para la construcción del invernadero de dos  
huertas comunitarias en la comuna 1 de Medellín

Katherine Ochoa Cárdenas

Informe de práctica  
como requisito para optar al título de:  
Ingeniería Civil.

Asesor:

Yenni Mariana Ramírez Mazo, Ingeniera civil – Ingeniera sanitaria

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Medellín, Colombia  
2020

## Resumen

En la comuna 1 de Medellín, conocida como Popular, los habitantes de dos sectores en los barrios Granizal y La Avanzada, encontraron la posibilidad de crear huertas que contribuyen a la obtención de alimentación para la población y el aprovechamiento de espacios en el sector. Como forma de potencializar los usos del espacio, para la huerta del barrio Granizal, la comunidad busca en el futuro contar con un espacio que permita aprovechar las cosechas de la huerta y realizar otras actividades de esparcimiento, para lo cual es necesario contemplar la construcción de un nuevo espacio y plantear la movilización del invernadero. Por otro lado, para la huerta del barrio La Avanzada, se planea a futuro, acondicionar el espacio disponible para proveer la atención de más personas en el restaurante comunitario existente, actividad que requiere como precedente el traslado del invernadero y la zona de compostaje actual.

En aras a la necesidad presentada, se tiene como objetivo diseñar la estructura y la subestructura para la construcción de invernaderos de las huertas mencionadas; para lo que se realizó una investigación y consideración de los tipos de invernadero y las características que deben cumplir para las plantas a cultivar, la temperatura de la zona influyente en el desarrollo óptimo de las semillas, condiciones admitidas por la normatividad vigente para el material de una estructura liviana, los materiales adecuados para dicha estructura, los tipos de cimentación y parámetros geotécnicos del suelo.

Durante el desarrollo del proyecto, por cuestiones de la contingencia sanitaria, no fue posible realizar ensayos de laboratorio para el terreno y por este motivo se recurrió a información secundaria. Dentro del diseño final se propuso la construcción de un invernadero tipo capilla de 9.1m x 6.1m y altura de 4m, para la huerta ubicada en el barrio La Avanzada, elaborado en guadua estructural y con una cimentación que consta de 4 zapatas aisladas esquineras de 1m x 1m en concreto ciclópeo y concreto simple, y 8 pilares cimentados de 0.6 x 0.6m en concreto simple. Para la huerta ubicada en el barrio Granizal, se propuso un invernadero tipo capilla de 9.1m x 3.1 m y una altura de 4m elaborado en guadua estructural y con una cimentación consistente en 4 zapatas esquineras de 1m x 1m en concreto ciclópeo y concreto simple, y 4 pilares cimentados de 0.6 x 0.6m en concreto simple.

Palabras clave: Invernadero, huertas comunitarias, diseño de invernadero, proyecto social.

## Introducción

En la comuna 1 de Medellín, conocida como Popular, los habitantes de dos sectores en los barrios Granizal y La Avanzada, encontraron la posibilidad de crear huertas comunitarias en respuesta a las dinámicas de los barrios y el aprovechamiento de espacios.

La primera huerta comunitaria se encuentra ubicada en el Barrio Granizal, a un costado de la Casa de la Justicia Santo Domingo en la carrera 102b con calle 32, zona que en el pasado fue utilizada como acopio de residuos sólidos, hasta hace alrededor de 15 años. Como solución a la problemática de los residuos en la comunidad, dado el deterioro de salud que esto podría causar en los habitantes del barrio, los malos olores producidos y el deterioro visual del sector; una de las habitantes de la zona, Gloria Clarisa Bustamante, decidió proceder con la limpieza del lote en 2012, posterior cerramiento como medida de prevención ante la falta de cultura de los vecinos del sector que podrían seguir haciendo uso del espacio como acopio de residuos, también logró el acompañamiento de la fundación Salva Terra para la construcción de la huerta y el invernadero.

Actualmente, en el terreno escarpado de un área aproximada (obtenida en ArcGIS) de 5700 m<sup>2</sup>, se localiza la huerta, el invernadero y una amplia zona verde con aproximadamente 15 árboles que constituyen el pulmón del sector y un muro de contención en la zona baja del mismo que fue realizado por la Alcaldía de Medellín en el 2011, como medida de protección ante inminentes deslizamientos de tierra. Como forma de potencializar los usos del espacio, la comunidad ha visualizado, con miras al futuro, el terreno como un lugar propicio para establecer una locación que permita la realización de actividades de esparcimiento en beneficio de los habitantes del sector, como por ejemplo la utilización para las funciones del Club de Vida de la tercera edad, ejecución de talleres para los niños orientados al cuidado de la naturaleza, zona de reunión para tareas de aprovechamiento de las cosechas de la huerta, entre otros. Para llevar a cabo tales objetivos, es necesario contemplar la construcción de un nuevo espacio y plantear la movilización del invernadero.

La segunda huerta comunitaria se encuentra ubicada en el límite de los barrios La Avanzada y El Trébol, cerca de la Institución Educativa Santo Domingo Savio en la carrera 28 con calle 107 Fd. Esta locación ha sido utilizada hace varios años como huerta comunitaria y a la vez como restaurante para brindar apoyo a personas de bajos recursos económicos. La huerta está provista de un invernadero, desarrollado por la fundación Salva Terra en el año 2014, a través del proyecto para huertas orgánicas denominado “Huertas con vos” de la Alcaldía de Medellín, el cual ya finalizó su vida útil, según la propietaria, por el estado en el que se encuentra dicho invernadero.

El terreno en el cual se ubica la huerta es escarpado con alta pendiente, el restaurante y el invernadero se encuentran localizados en la zona más alta del terreno, el punto donde se encuentra el invernadero actualmente es deseado para la futura ampliación del restaurante, en la zona media del lote se encuentra la huerta ya conformada y en la parte inferior se encuentra

un espacio sin uso que linda con la Cañada Negra. El área aproximada de todo el terreno tomada a partir de la medición en el sitio, sin tener en cuenta el área del restaurante y del invernadero actual es de 988 m<sup>2</sup>, de los cuales 800 m<sup>2</sup> corresponden a la huerta.

La propietaria del restaurante y del terreno, la señora Cecilia Manco, planea en el futuro acondicionar el espacio para proveer la atención de más personas en el restaurante y brindarles el beneficio a través de los alimentos cosechados. Para tal fin se debe contemplar el aprovechamiento del espacio disponible y el traslado del invernadero y la zona de compostaje.

## **Objetivos**

### **Objetivo General:**

Diseñar la estructura y la subestructura para la construcción de invernaderos de dos huertas ubicadas en los barrios Granizal y La Avanzada en la comuna 1 de la ciudad de Medellín.

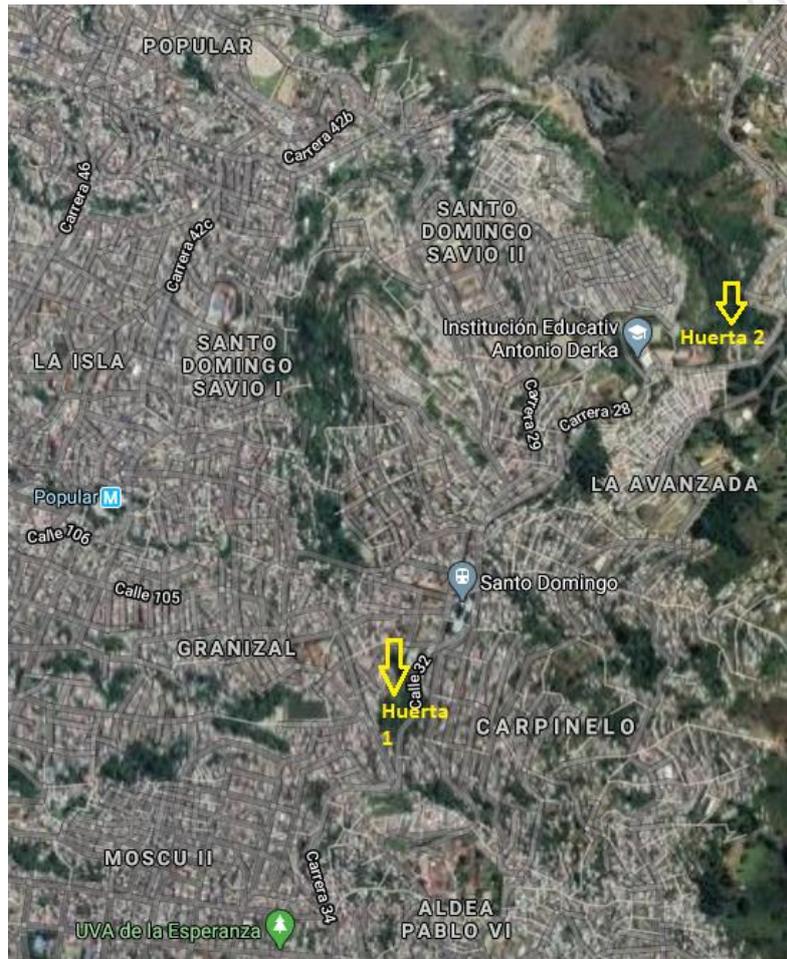
### **Objetivos específicos:**

- Precisar necesidades propias del proyecto de acuerdo con las restricciones del entorno y condiciones de sitio.
- Identificación de normativa y literatura técnica útil en el planteamiento y validación de los diseños.
- Analizar las propiedades del suelo en aras de la evaluación de las estructuras a proponer.
- Evaluar propuestas de diseño preliminar de estructuras de acuerdo con las variables geotécnicas y estructurales.
- Brindar información completa sobre el diseño optimizado a nivel estructural y de subestructura a las propietarias de las huertas comunitarias para su aval.
- Entregar documentación precisa del proceso, diseños y soportes correspondientes, y recomendaciones técnicas.

## Marco Teórico

- Generalidades:

La primera huerta a la que se orienta la atención de este proyecto se encuentra ubicada en el barrio Granizal de Medellín, la segunda está en el barrio La Avanzada. En las siguientes imágenes se muestra la zona nororiental en la que se encuentran los barrios y una captura en planta de los terrenos en donde se localizan las huertas.



*Imagen 1. Ubicación de las huertas en la zona nororiental de Medellín. Tomado de: Google Maps, 2020.*



*Imagen 2. Huerta comunitaria barrio Granizal. Tomado de: Google Maps, 2020.*



*Imagen 3. Huerta comunitaria barrio La Avanzada. Fuente propia, 2020.*



*Imagen 4. Huerta comunitaria barrio La Avanzada. Tomado de: Google Maps, 2020.*

Las huertas en cuestión fueron conformadas con el apoyo del proyecto de la Alcaldía de Medellín, Huertas con vos, puesto que se observó la posibilidad del uso del terreno disponible para un bien común. Huertas con vos es un proyecto de desarrollo sostenible creado por la Alcaldía de Medellín en la administración del exalcalde Federico Gutiérrez Zuluaga, dirigido a personas en situación de extrema pobreza para concientizar a esta población del buen uso de la tierra y el aprovechamiento de ella, cosechando su propio alimento necesario para la supervivencia y además obtener dinero con el producto adicional. Este proyecto se concibió como una forma adecuada de ayudar a la población sin generar dependencia al suministro de mercados, ofreciendo entre 20 y 30 kilogramos de verduras y frutas al mes. Los beneficiarios son más de 1000 familias en casi 28 barrios diferentes de Medellín y se proyecta extender el beneficio a futuro. El programa contempla formación por medio de talleres en los que se enseña a producir una cosecha, desde la siembra hasta la conservación, además del uso adecuado de estos productos y formas diferentes de utilizarlos en las preparaciones culinarias (Alcaldía de Medellín, 2018).

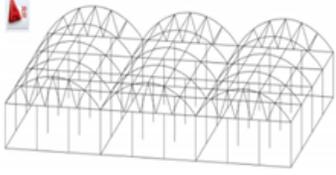
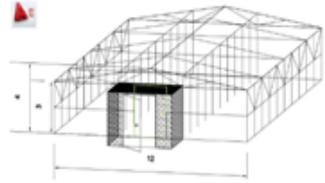
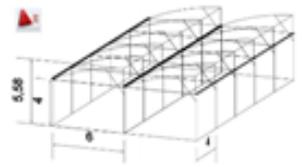
- Huertas e invernaderos:

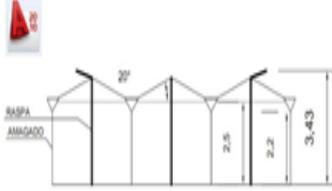
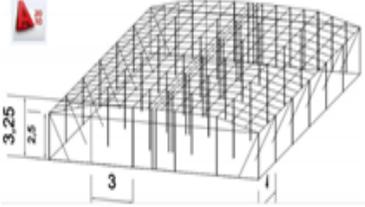
Existen varios tipos de huertas, las cuales se clasifican por cinco criterios, el primero es según los recipientes o soportes de cultivo, pueden ser en el suelo, en macetas o en mesas de cultivo; el segundo es según el tipo de sustrato, utilizando como sustrato la tierra de jardín, sustrato comercial, sustrato acuapónico o hidropónico; el tercer criterio es según el tipo de técnicas o tratamientos, contemplando cultivos tradicionales o según técnicas agroecológicas; el cuarto se refiere al riego, si es manual o automático; y por último se tiene el criterio según la finalidad de la huerta, huertas privadas, con ánimo de lucro, caseras, de ocio, municipales, urbanas comunitarias, didácticas, terapéuticas y como herramienta estética y/o atractivo turístico (Muñoz, 2019).

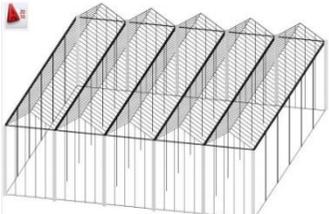
La huerta urbana comunitaria es en donde se realiza una práctica de agricultura en un espacio común o espacio público que se encuentra en mal estado para convertirlo en un espacio útil, son trabajados sin ánimo de lucro por la comunidad y los recursos allí obtenidos son compartidos. Estas huertas comunitarias, por lo general, tienen una visión más amplia y son utilizados para enseñar a niños, jóvenes y adultos a concientizarse sobre la importancia de la naturaleza, y en ocasiones constituye la fuente de alimento orgánico.

Las huertas urbanas comunitarias tienen cinco funciones principales que son: urbanísticas, convertir un espacio en mal estado en uno útil; medioambientales, ejerciendo un filtro ante la contaminación actuando a modo de pulmón y mejorando el aire de la zona; terapéutico, ayudando a disminuir el estrés y a realizar ejercicio moderado; social, las huertas sirven para realizar trabajos en comunidad; y por último cultural, en aras a no perder costumbres ancestrales (Fernández, 2011). Cada huerta debe estar provista de un invernadero, independientemente de la tipología de la huerta. Estos se clasifican según su construcción o estructura, a continuación, se mostrarán los tipos de invernadero existentes según la conformación estructural:

**Tabla 1. Tipos de invernaderos, ventajas, desventajas y características (Santizo, 2011).**

Tipo de Invernadero	Ventajas	Desventajas	Características
<p><b>Túnel o semicilíndrico</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rápida instalación por ser de estructuras metálicas.</li> <li>- Gran control climático.</li> <li>- Pocos obstáculos para libre movimiento.</li> <li>- Buena ventilación.</li> <li>- Buena luminosidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura de cubierta con material únicamente de metal.</li> <li>- No aprovecha el agua lluvia.</li> <li>- Costo muy elevado.</li> </ul>	<p>Techos totalmente de metal, soportes de tubo de hierro galvanizado con una separación de 5x8 o 3x5 metros, la altura máxima entre 3.5 y 5 metros y la altura de bandas laterales entre 2.5 a 4 metros.</p>
<p><b>Capilla</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La construcción y mantenimiento es de baja dificultad.</li> <li>- Económico.</li> <li>- Acepta todo tipo de plástico en la cubierta.</li> <li>- Buena ventilación vertical.</li> <li>- Buena capacidad de drenaje de aguas lluvia.</li> <li>- Permite la unión de varios invernaderos del mismo estilo para grandes empresas productoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca ventilación a la hora de la unión de varias estructuras.</li> </ul>	<p>Tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Ancho común es de 12 a 16 metros y la altura central entre 3.2 y 4 metros.</p>
<p><b>Dientes de sierra</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente ventilación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riesgo de inundación por mal manejo de aguas lluvia.</li> <li>- Poca concentración de aire.</li> </ul>	<p>Ángulo de cubierta entre 5° y 10°, altura de cumbrera promedio 5.6 metros, altura de amagado promedio 4 metros y separación entre amagado, 6 metros.</p>

Tipo de Invernadero	Ventajas	Desventajas	Características
<p data-bbox="293 292 533 316"><b>Asimétrico o inacral</b></p> 	<ul data-bbox="656 316 1120 515" style="list-style-type: none"> <li>- Buen aprovechamiento de luz solar en época de invierno.</li> <li>- Económico.</li> <li>- Buen drenaje de aguas lluvia.</li> <li>- Resistente a vientos no muy fuertes.</li> <li>- Buena ventilación.</li> </ul>	<ul data-bbox="1137 347 1543 515" style="list-style-type: none"> <li>- No aprovecha el agua de lluvia.</li> <li>- Pierde más calor que los otros tipos más planos por su gran cantidad de superficie.</li> <li>- Difícil mantenimiento.</li> </ul>	<p data-bbox="1561 316 2018 547">La altura máxima de la cumbre es de entre 2.3 y 5 metros, la altura entre bandas se encuentra entre 2.15 y 3 metros, el ángulo de cubierta en la cara sur entre 8° y 11° y en la cara norte entre 18° y 30° y la separación entre apoyos suele ser de 2x4 metros.</p>
<p data-bbox="293 651 533 675"><b>En raspa y amagado</b></p> 	<ul data-bbox="656 691 1120 850" style="list-style-type: none"> <li>- Mayor inercia térmica lo que quiere decir es que aumenta la temperatura nocturna.</li> <li>- Mayor libertad de movimiento por pocos elementos estructurales.</li> <li>- Económico.</li> </ul>	<ul data-bbox="1137 722 1543 850" style="list-style-type: none"> <li>- No aprovecha las aguas lluvia.</li> <li>- Por su estructura se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.</li> <li>- Menos concentración del calor.</li> </ul>	<p data-bbox="1561 651 2018 882">La altura máxima de la cumbre es de entre 2.3 y 5 metros, la altura entre bandas se encuentra entre 2.15 y 3 metros, el ángulo de cubierta en la cara sur entre 8° y 11° y en la cara norte entre 18° y 30° y la separación entre apoyos suele ser de 2x4 metros.</p>
<p data-bbox="327 970 499 994"><b>Parral o plano</b></p> 	<ul data-bbox="656 1090 1120 1217" style="list-style-type: none"> <li>- Económico en materiales.</li> <li>- Concentra gran cantidad de aire.</li> <li>- Poca sombra provocada por elementos estructurales del techo.</li> </ul>	<ul data-bbox="1137 1034 1543 1273" style="list-style-type: none"> <li>- Pendiente casi inexistente malo para zona de alta precipitación.</li> <li>- Alta probabilidad de rotura por altas lluvias.</li> <li>- Poco drenaje.</li> <li>- Alto costo de construcción porque requiere personal especializado.</li> </ul>	<p data-bbox="1561 1090 2018 1217">Generalmente son hechos de palos y alambres Altura lateral de 2.5 metros, altura central 3.5 metros y pendiente casi inexistente.</p>

Tipo de Invernadero	Ventajas	Desventajas	Características
<p data-bbox="309 292 515 320"><b>De cristal o venlo</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente control del clima dentro de la estructura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy poca luminosidad por la gran cantidad de elementos estructurales de techo.</li> <li>- Son pequeñas en tamaño por su alta complejidad.</li> <li>- Un costo muy elevado de construcción y de mantenimiento.</li> </ul>	<p>Anchura de modulo es de 3.2 metros. en la parte superior solo hay un panel de vidrio con un ancho variable entre 0.75 m y 1.6 m y con una longitud de 1.65 m. La separación entre columnas es de 3 m. Si tiene una línea de columnas debajo de cada canal la separación transversal entre columnas es de 3.2 m o si tiene un tipo de viga celosía será de 6.4 m.</p>

Las dimensiones y las formas de los invernaderos son variables y depende del clima de la zona y por la clase de cultivos que se van a utilizar. No existe una normativa o una dimensión específica que se deba cumplir estrictamente, sin embargo, existen recomendaciones para el buen desempeño de la estructura.

Teniendo en cuenta el material a utilizar para la construcción (tubería, polietileno y madera), el ancho ideal entre soportes verticales, son los múltiplos de 3 metros, su longitud depende de la necesidad y puede llegar hasta 60 metros (es de considerar que las áreas grandes representan dificultades para el control de la temperatura y la humedad relativa) (Santizo, 2011).

La altura debe garantizar el buen desarrollo del cultivo y para esto se puede considerar dimensiones en los extremos de 2.5 metros y de 3 a 4 metros en el centro o cumbre. Si el invernadero se encuentra en una zona con vientos fuertes es recomendable construir techos con bajas pendientes y baja altura en el centro; por otro lado, si se encuentra en una zona con alta pluviosidad se recomienda alta pendiente y por ende mayor altura en el centro de la estructura (Santizo, 2011).

El área del invernadero puede ser variada según la escogencia de la organización interior de este, la distribución puede ser horizontal con todos los espacios destinados para la plantación de las semillas en el suelo, lo cual conllevaría a una mayor área; la distribución de forma vertical en donde el espacio de plantación se encontraría en estanterías de cultivo, por ser más compacto y funcional aminoraría el área de la estructura; o en distribución de riego hidropónico, tendría una reducción considerable en el área con respecto a las demás.

Para la adecuada elección de la altura del invernadero a construir se precisa conocer el tipo de cultivo y los tipos de semilla a utilizar. Existen dos tipos de cultivos, el monocultivo en el cual solo se siembra el mismo tipo de semilla o el cultivo múltiple en el que se siembran varios tipos de semillas (Seedbox, 2015). En la Tabla 2 se muestran varios tipos de semilla, la altura promedio que alcanza y la temperatura óptima para el buen término de los cultivos.

**Tabla 2.** Tipos de semilla, altura promedio y temperatura adecuada (Infoagro).

Tipo de semilla	Altura promedio (cm)	Temperatura adecuada (°C)
Ajo	40-50	16 nocturna
Apio	30-80	7-10
Alcachofa	60-90	24 diurna y 13 nocturna
Berenjena	50-100	20-25
Brócoli	18-20	20-24
Cebolla	80-150	24
Cilantro	30-40	<21
Coliflor	20-30	15.5-21.5
Espárrago verde	10-12	18-25
Espinaca	30-100	<26
	Negret 50-60 Voluntario 80-90	

Guisante	Teléfono enano 80-90 Televisión 75 Tirabeque 170-190	16-20
Lechuga	25	18-20
Patata	50-100	13-18
Puerro	50	13-24
Rábano	50-100	18-22
Tomate	Depende tipo de tomate	20-30
Yuca	<100	16-38
Zanahoria	<150	16-18
Arroz	60-120	25
Garbanzo	60	25-35
Lentejas	20-70	15-21
Tomillo	10-40	Sin restricciones
Azafrán	10-25	25-35
Orégano	30-80	15-20
Perejil común	<40	Sin restricciones

- Consideraciones para el proyecto:

Existen distintos tipos de materiales para la construcción de los invernaderos, acero, concreto, madera, guadua, entre otros. Cabe considerar que estos materiales son lo suficientemente duraderos en relación con la vida útil de la estructura, sin embargo, en la elección del material para este proyecto debe considerarse el factor económico como determinante en el diseño. En esta medida, la madera y la guadua son un material viable para este proyecto, puesto que son económicos en comparación con los otros materiales mencionados, proveen facilidades en construcción y transporte, además que su capacidad de carga no es un limitante dado que las estructuras a construir no necesitan soportar mucho peso.

La madera tiene una alta rigidez, además al ser buen absorbente de energía soporta cargas de impacto y por consiguiente soporta mejor los sismos. La madera de uso estructural requiere tener buena durabilidad natural y su obtención debe cumplir las normas legales forestales colombianas. Para el diseño de elementos en madera existe normatividad según las solicitudes a flexión, por fuerza axial y por ambas, además de las especificaciones para las uniones que deben tener los elementos en cada caso, así como especificaciones para la preparación, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento que debe tener la madera, entre otros (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Específicamente, la Norma Técnica Colombiana NTC 2500 publicada por el ICONTEC, -Uso de la madera en la construcción-, indica el proceso industrial, los tratamientos, los requisitos de calidad de la fabricación, las propiedades de la madera, el montaje, el transporte, el mantenimiento, la preservación, las uniones y todo lo relacionado con la madera como material de construcción (ICONTEC, 1997). Adicionalmente, para el uso de este material se deben cumplir los requisitos de calidad para madera de uso estructural estipulados en el

reglamento sismo resistente NSR 10 título G (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

De acuerdo con la NSR-10, la madera tiene las siguientes propiedades mecánicas (Tabla 3):

**Tabla 3. Propiedades mecánicas de la madera** (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Resistencia	Tracción paralela a la fibra	Compresión paralela a la fibra	Flexión	Compresión perpendicular a la fibra	Cortante por deslizamiento
Valor (N/mm <sup>2</sup> )	9-21	10-23	12.5-29.5	1.5-6	1.3-2

En la práctica se utiliza un único valor del módulo de elasticidad mínimo, su valor varía entre 3.564 N/mm<sup>2</sup> y 7.130 N/mm<sup>2</sup> dependiendo de la calidad de la madera.

Existen dos tipos de calidad de madera de uso estructural, la estructural selecta (E.S) que se emplea en vigas, columnas, cerchas y demás elementos portantes principales, y la estructural normal (E.N) empleada en elementos portantes secundarios. Los esfuerzos admisibles y los módulos de elasticidad para madera aserrada de calidad de estructural selecta (E.S) son los ilustrados en la tabla 4, el valor tomado para el análisis y diseño de elementos estructurales es el E0.5 como modulo de elasticidad del material y el Emin se utiliza para el calculo de los coeficientes de estabilidad de vigas y columnas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La tabla 4 se basa en tipos de madera colombiana, según la clasificación de la NSR-10, en el apéndice G-B del título G.

**Tabla 4. Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para madera aserrada** (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

GRUPO	Esfuerzos Admisibles, (Mpa) C.H=12%				
	$F_b$ Flexión	$F_b$ Tensión	$F_c$ Compresión II	$F_p$ Compresión	$F_v$ Cortante
ES1	29,5	21	23	6	2
ES2	28,5	20	22	4,3	2
ES3	23	17	19	3,8	1,6
ES4	17	12	15	2,8	1,5
ES5	15	11	13	2	1,1
ES6	12,5	9	10	1,5	1,3
GRUPO	Módulos de Elasticidad longitudinal, (Mpa) C.H=12%				
	$E_{0,5}$ Módulo Promedio	$E_{0,05}$ Módulo 5° Percentil	$E_{min}$ Módulo Mínimo		
ES1	18000	13250	7130		
ES2	18000	13250	7130		
ES3	14000	11000	5500		
ES4	12500	10000	5000		
ES5	11200	8250	4435		
ES6	9000	6500	3564		

La guadua estructural es muy utilizada para la construcción de edificaciones, por su fiabilidad y durabilidad, de esta existen muchas clases, pero la única permitida por la norma es la guadua angustifolia kunth, la cual es utilizada para estructuras livianas de máximo 2 niveles, el uso de esta para soporte estructural debe cumplir los requisitos de calidad y de diseño establecidos en la NSR-10 título G (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Los esfuerzos admisibles y los módulos de elasticidad de la guadua se ilustran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de la guadua rolliza (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

<b>Esfuerzos Admisibles, (Mpa) C.H=12%</b>				
$F_b$ <b>Flexión</b>	$F_b$ <b>Tensión</b>	$F_c$ <b>Compresión II</b>	$F_p$ <b>Compresión</b>	$F_v$ <b>Cortante</b>
15	18	14	1,4	1,2
<b>Módulos de Elasticidad longitudinal, (Mpa) C.H=12%</b>				
$E_{0,5}$ <b>Módulo Promedio</b>	$E_{0,05}$ <b>Módulo 5° Porcentil</b>		$E_{min}$ <b>Módulo Mínimo</b>	
9500	7500		4000	

Para la ejecución de los diseños, es necesario el conocimiento del suelo en que va a estar apoyado toda la estructura, por ello se debe realizar un estudio del suelo. El estudio geotécnico es el realizado previamente al proyecto de un edificio y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación (Rodríguez Ortiz y otros, 1984). Adicionalmente comprende un conjunto de actividades tales como el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, el análisis y las recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Existen dos tipos de estudios geotécnicos, el estudio preliminar es de carácter general, no es obligatorio y el estudio definitivo es aplicable a un proyecto específico, debe contener información del proyecto, del subsuelo, medidas de cada unidad geológica, análisis geotécnicos, recomendaciones para diseño, recomendaciones para la protección de edificaciones y predios vecinos, recomendaciones para la construcción, y anexos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La ley 400 de 1997 expresa que todas las edificaciones convencionales que se adelanten en el territorio nacional deberán sujetarse a las normas vigentes de sismo resistencia; sin embargo, para estructuras de fácil instalación y desmonte, conformadas con materiales livianos, utilizadas para la protección de los cultivos del clima, en este caso los invernaderos, no se determinan como edificaciones sino como una técnica de protección del cultivo, por lo tanto no se precisa una licencia de construcción, ni estudio geotécnico, pero si es un requisito el

conocimiento previo del uso del suelo permitido dictaminado en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) del municipio o distrito (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Antes de realizar cualquier construcción se deben tener en cuenta que la identificación del suelo (y su correspondiente estudio de suelos), como fuente de información primaria, es de vital importancia en la selección de una superficie que conecte la estructura de la edificación que se precisa con el suelo, a esta conexión se le conoce como cimentación. La cimentación depende del tipo de suelo y las cargas que se le transmiten a través de la estructura que se desea construir. La cimentación debe soportar los esfuerzos y las tensiones internas propias asociadas al material, las cargas transmitidas por la estructura (estáticas y dinámicas), y las presiones generadas en el terreno (por acción de la estructura mineral o presión de agua contenida en el suelo) (Montoya y Pinto, 2010).

Como clasificación de las cimentaciones, se pueden agrupar en cimentaciones directas o superficiales y cimentaciones indirectas o profundas.

Los cimientos superficiales se apoyan en las capas directas o no profundas del terreno, son utilizadas para construcciones livianas o a razón de una capacidad portante alta del suelo. Según su geometría, pueden ser aisladas, en esquina, combinada, centrada, medianera, continua, vigas o losas flotantes, emparrillados y losas continuas.

Las cimentaciones profundas, aprovechan el esfuerzo cortante (fuerza aplicada en forma paralela y perpendicular al terreno) entre la cimentación y el suelo con el fin de aminorar el efecto de peso de la estructura sobre el terreno. Algunas tipologías de estas cimentaciones son micropilotes, pilotes, prefabricados, pilotes de hormigón in situ, pantallas de hormigón in situ, pantallas prefabricadas, pantallas mixtas, tablestacas metálicas y pilas (Pacheco-Rivas, 2017).

Particularmente, para estructuras livianas como los invernaderos, existen cimentaciones como:

- Vigas de madera. Ideal para invernaderos donde su operación es solo durante el verano, tiene una vida útil corta (Erohovastitch, 2020).
- Base de ladrillo de hormigón. Es de larga duración, de fácil construcción y tiene un peso pequeño, pero acumula humedad y el ladrillo pierde resistencia con el pasar del tiempo (Erohovastitch, 2020).
- Hormigón, cinta adhesiva: Al remplazar el ladrillo con el concreto, tiene más vida útil, es de fácil construcción, resiste a la humedad, pero es bastante pesado y de alto costo (Erohovastitch, 2020).
- Basado en bloques: Es de fácil construcción, es económico y es duradero, pero no aísla térmicamente y es inestable al daño mecánico (Erohovastitch, 2020).
- En forma de base columnar: Es resistente, durable, tiene bajo costo, se requiere trabajo adicional a la hora de construirlo y requiere aislamiento adicional (Erohovastitch, 2020).

- Losa monolítica: Se puede instalar en cualquier tipo de suelo y será estable y resistente, pero es bastante costosa y requerirá de un aislamiento adicional y de un drenaje (Erohovastitch, 2020).

Además de los anteriores mencionados existe un nuevo tipo de cimentación para estructuras ligeras llamado piloedre (Agudelo Zapata, 2015), aunque aún no es muy utilizado en Colombia, parece ser una buena alternativa para estructuras pequeñas.

Con respecto al análisis de cargas, necesario para conocer la interacción entre el peso de la estructura, la capacidad del suelo y cargas considerables como el viento; el mercado ofrece diferentes alternativas. Cabe aclarar que en este proyecto no se realizará modelación con software dada la no exigencia por la normativa de aplicar modelos a estructuras para protección de cultivos (bajas sollicitaciones), además de la no disponibilidad de datos de información primaria que serán detallados en la metodología.

A continuación, se presentan algunos softwares utilizados con este fin para proyectos que lo requieran:

- Cypecad: Es un programa que diseña, calcula y dimensiona estructuras de hormigón y metálicas principalmente, es conocida por ser fiable, sencilla a la hora del ingreso de datos y en el modelaje. Arroja todos los datos necesarios para la entrega del proyecto, como hojas de cálculo, planos de construcción y descriptiva (Structuralia, 2019).
- Sap2000: Es un programa de elementos finitos, utilizada para dimensionar todo tipo de infraestructuras, es fiable, versátil y tiene poder de cálculo (Structuralia, 2019).
- Midas: Es un programa destinado al cálculo y diseño de infraestructura, solucionando problemas geotécnicos, mecánicos y estructurales (Structuralia, 2019).
- Tekla structures: Es un programa que puede modelar gran cantidad de materiales, aunque no es capaz de dimensionar la estructura (Structuralia, 2019).
- Diamonds: Otro software con enfoque BIM como Tekla, principalmente orientado a estructuras de hormigón y metálicas (BuildSoft, sf).
- Geo5: Es un programa específico para la solución de problemas geotécnicos, análisis de taludes, entre otros (Zuloaga, 2018).

## Metodología

Para la ejecución del proyecto es necesario realizar las actividades planteadas a continuación:

### **1. Realización de visitas de campo a las zonas destinadas para la construcción de los invernaderos.**

Se realizaron 2 visitas de campo a las huertas comunitarias de interés en los barrios Granizal y La Avanzada, para el reconocimiento del terreno, la identificación de necesidades, las problemáticas del territorio y la identificación del clima con el que cuentan.

Se planearon otras 2 visitas donde se pretendía realizar la extracción de muestras requeridas para los ensayos de laboratorio, pero fue imposible por cuestiones de la contingencia sanitaria ocurrida en el presente año 2020.

Se llevaron a cabo 2 reuniones de forma virtual con las personas interesadas de cada proyecto, la primera para la toma de decisiones con respecto a las propuestas planteadas en este documento y, la elección de la más viable; la segunda para la presentación final del diseño.

## **2. Revisión de la literatura técnica adecuada para la realización de los diseños y estudios de acuerdo con la normativa vigente y literatura científica asociada al tema.**

En el proyecto se utilizaron varios métodos para la obtención de información como: las bases de datos de la Universidad de Antioquia para la exploración de diferentes normativas y artículos relacionados, también se utilizó la búsqueda específica en bases de datos públicas y en páginas Web (SIATA, INVIAS, Infoagro, etc.), con la finalidad de obtener de documentos, revistas, imágenes, entre otras, información adecuada para el buen término de este proyecto.

Con la búsqueda realizada, se encontraron varias normativas como lo es la “Norma Sismo Resistente colombiana” publicada en el 2010 (NSR-10), importante para el estudio y construcción de cualquier edificación, de esta se extraen los títulos más relevantes para el proyecto: título G- Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua y el título H de dicha norma, Estudios Geotécnicos; y la “Norma Técnica Colombiana” ICONTEC NTC-2500, Ingeniería Civil y Arquitectura- Uso de la madera en la construcción.

Para el conocimiento de los antecedentes se revisó el proyecto “Huertas con vos”, de la Alcaldía de Medellín, el cual apoyó a ambas huertas en la constitución, creación y capacitación del personal, además, se investigó información sobre tipos de huertas, entre ellas las huertas comunitarias.

Por motivos de la contingencia sanitaria del presente año 2020, se recurrió a la búsqueda de fuentes secundarias para la obtención de parámetros geotécnicos similares al terreno a intervenir en los proyectos, de acuerdo a información obtenida previamente en campo y suministrada por las partes interesadas del proyecto. Cabe aclarar que el terreno en cuestión tiene antecedentes como acopio de residuos sólidos, lo cual fue un dato de vital importancia en la consecución de información de apoyo.

Algunas de las fuentes más relevantes fueron “Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y

evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas” (Sánchez, 2010), y “Plan Parcial de Mejoramiento Integral del barrio Moravia”, realizado por Planeación Municipal de la Alcaldía de Medellín. Adicional a esto se obtuvo información complementaria de bibliografía técnica, para la contrastar los datos asumidos a través de la información secundaria y como fuente de consulta para el correcto diseño de la cimentación.

Para la elección correcta del tipo de invernadero a utilizar en ambas huertas se revisó el proyecto “Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas” (Santizo, 2011) y “Estructura e instalaciones de un invernadero” (Gassó y Solomando, 2011), donde se conoció información completa sobre tipos de invernadero. Adicionalmente se encontró una circular externa publicada por el Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el 2004 relevante para estructuras de invernaderos.

Es necesario conocer el comportamiento climático de la zona en donde se encuentran las huertas, de este modo determinar el tipo de cultivo que se puede sembrar en el terreno, dicha información se encontró en la página de Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA). En la página web de Infoagro se revisaron las características de las semillas para la correcta determinación de la altura y material de construcción del invernadero.

También se recurrió a documentos como “Tipos de Cimentación” (Pacheco-Rivas Igma, 2017) y “Cimentaciones” (Montoya y Pinto, 2010), los cuales brindan datos para la elección oportuna del tipo de cimentación de las estructuras a construir, Además se pudo obtener datos relevantes sobre cimentaciones de estructuras de invernaderos en páginas web (Erohovastitch, 2020) y nuevas alternativas de cimentación aun no utilizadas en Colombia (Agudelo Zapata, 2015).

### **3. Toma de muestras en los terrenos a analizar, para el análisis geotécnico.**

Inicialmente, durante el planteamiento del proyecto, se pretendía realizar toma de muestras en cada uno de los terrenos a tratar para la realización de ensayos de laboratorio, donde se obtendrían unos parámetros geotécnicos relevantes para el diseño de la estructura y subestructura; por motivos de la contingencia sanitaria actual, resultó imposible dicha toma de muestras, por lo tanto se realizó una investigación, análisis y asociación con datos existentes de diferentes proyectos realizados en el barrio Moravia, donde se evidencian condiciones similares al suelo más desfavorable a intervenir perteneciente a la huerta del barrio Granizal, ya que ambos tienen antecedentes como botadero y contienen materia orgánica.

### **4. Realización de diferentes ensayos de laboratorio para la determinación de propiedades del suelo de las zonas.**

Por motivos mencionados en el punto anterior, se decidió trabajar con las condiciones más críticas en ambos terrenos para que tanto la estructura como la subestructura no tengan ningún tipo de problema con la variación del tipo de suelo. En esta medida, si su cálculo considera las condiciones más desfavorables, no habría ningún riesgo para los escenarios de funcionamiento de la estructura. Se implementaron los parámetros geotécnicos obtenidos de ensayos de laboratorio del barrio Moravia, realizando una comparación entre proyectos de distintas entidades para la verificación de dicha información, además de una comparación con datos preexistentes en correlaciones de bibliografía técnica.

#### **5. Generación de propuestas preliminares de diseño estructural con distintas características para oportuna elección.**

Considerando los diferentes tipos de invernaderos, tipos de materiales y tipos de cimentaciones adecuadas para estos dos terrenos, sin dejar a un lado la solución de las necesidades, se tomó la elección correcta de invernadero, materiales de construcción y subestructura, asegurándose que la capacidad de carga y los asentamientos que la estructura sean aceptables bajo el concepto de capacidad de servicio de la estructura.

#### **6. Evaluación y cálculo general de cargas (cargas vivas y cargas muertas) en las propuestas preliminares.**

Es de considerar que las estructuras a construir son de fácil instalación y desmonte, conformadas con materiales livianos, y constituye una técnica de protección del cultivo, por lo tanto, no se precisa una licencia de construcción, ni estudio geotécnico. De acuerdo con ello, la evaluación de las propuestas presentadas en este documento se limita al planteamiento de propuestas funcionales y resistentes para el fin concebido.

Como una buena práctica de diseño, aunque no obligatorio para la categoría de la estructura a construir, se realizó una elección oportuna de cargas teniendo en cuenta el valor máximo permitido para estructuras de categoría baja por la Norma Sismorresistente colombiana, esto en aras de la seguridad de todas las personas que ingresaran a dicho invernadero.

#### **7. Presentación final de los diseños de la estructura y subestructura de los dos invernaderos.**

Se llevo a cabo una reunión virtual con las personas interesadas en la construcción de los invernaderos para la presentación de los diferentes diseños de estructuras viables, sus ubicaciones, dimensiones, materiales y cimentación, para la presentación de la estructura adecuada para cada una de las huertas.

## 8. Documentación del proceso y el diseño obtenido.

Con la elección del invernadero, el material y la cimentación se procede a finalizar el proyecto con la entrega de documentación de solución propuesta a los interesados.

### Resultados y análisis

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de cada una de las actividades planteadas para este proyecto y su respectivo análisis:

#### 1. Realización de visitas de campo a las zonas destinadas para la construcción de los invernaderos.

##### Huerta La Avanzada:

La huerta está conformada en un terreno con inclinación considerable tal como se muestra en la Imagen 5, tiene un difícil acceso, de alto riesgo, un sistema de riego manual, el invernadero situado en la parte superior diagonal al restaurante, tiene una estructura tipo capilla en material de guadua, la distribución o uso es de suelo y no en estantes (distribución horizontal) como se muestra en la Imagen 6, además allí se encuentra también la zona de compostaje lo cual afecta significativamente al restaurante por sus malos olores y problemas sanitarios que esto ocasiona.

En la Imagen 7 se observa el espacio disponible para la nueva zona de compostaje y el nuevo invernadero, este espacio se encuentra en la parte inferior del terreno y linda con la quebrada La Negra.

La Imagen 8 muestra un esquema del terreno en perfil y su distribución actual.



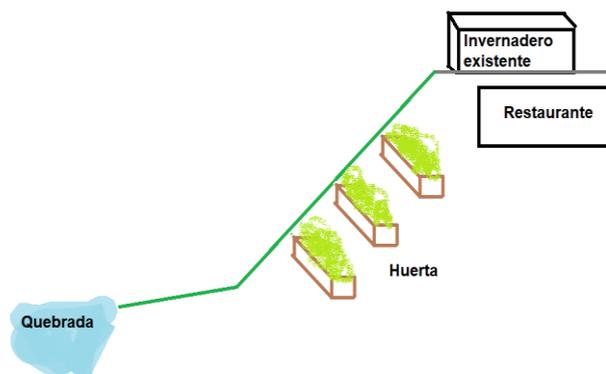
**Imagen 5.** Huerta comunitaria, La Avanzada (fuente propia, 2020).



**Imagen 6.** Invernadero existente, La Avanzada (fuente propia, 2020).



**Imagen 7.** Terreno inferior, La Avanzada (fuente propia, 2020).



**Imagen 8.** Esquema perfil del terreno huerta barrio La Avanzada. Elaboración propia.

### **Huerta Granizal:**

Se encuentra ubicada en un terreno de pendiente muy alta, tiene fácil acceso a pesar de lo anterior, comprende un sistema de riego manual, la huerta como tal se encuentra ubicada en la parte derecha central (imagen 9). El Invernadero existente es tipo capilla con la estructura en material de guadua, la distribución interna del invernadero es horizontal, con la zona de compostaje y cuarto de herramientas dentro de la estructura (imagen 10). En la parte inferior del terreno se encuentra construido un muro de contención por problemas de deslizamientos anteriores, el cual sostiene la estructura del invernadero y el peso de toda la montaña (imagen 11). En la parte izquierda del terreno se encuentra una alta población de árboles (imagen 12). La Imagen 13 muestra un esquema del terreno en perfil y su distribución actual.



**Imagen 9.** Huerta comunitaria, Granizal (fuente propia, 2020).



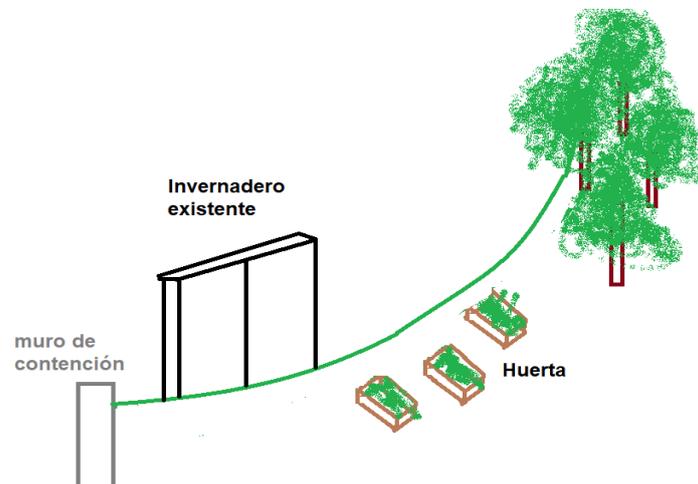
**Imagen 10.** Invernadero existente, Granizal (fuente propia, 2020).



**Imagen 11.** Muro de contención, Granizal (fuente propia, 2020).



**Imagen 12.** Zona boscosa, Granizal (fuente propia, 2020).



**Imagen 13.** Esquema perfil del terreno huerta barrio Granizal. Elaboración propia.

## **2. Revisión de la literatura técnica adecuada para la realización de los diseños y estudios de acuerdo con la normativa vigente y literatura científica asociada al tema.**

El título H de la Norma sismorresistente colombiana NSR10, se define todo lo relacionado con el estudio del suelo del terreno a tratar, como realizar la caracterización geotécnica del subsuelo, la cantidad, la profundidad, las características y distribución de los sondeos, todo lo relacionado con los ensayos de laboratorio y las muestras necesarias, especificaciones para el cálculo de las cimentaciones, estado límite de falla y de servicio, capacidad admisible, entre otros datos relevantes.

Los datos más relevantes tomados desde este título es la especificación de las cargas máximas de servicio de las columnas de 800 kN para una estructura de categoría baja de hasta 3 niveles y la consideración de un factor de seguridad de 3 contando con carga muerta + carga viva normal (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). En el título G de la NSR10, se obtuvo toda la información necesaria para el uso de cualquier tipo de madera y en especial para el uso de la guadua en construcción, el cual es el material propuesto a utilizar

para las estructuras de invernadero de dicho proyecto, dicha información constituye los requisitos de calidad y diseño para las estructuras en guadua, métodos de diseño estructural, la preparación de los materiales, la fabricación, construcción, montaje y mantenimiento necesarios para este tipo de material, los esfuerzos permisibles y el módulo de elasticidad de la guadua, entre otros datos importantes (Imagen 14). La norma ICONTEC NTC-2500, es la que complementa la NSR-10 en todo lo relacionado al uso de la madera y las especificaciones para la construcción, transporte y mantenimiento (Imagen 15).



**Imagen 14.** Portada NSR-10, titulo G y titulo H (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).



**Imagen 15.** Portada NTC 2500 (ICONTEC, 1997).

Huertas con vos es un proyecto realizado por la Alcaldía de Medellín para el apoyo a personas de bajos recursos por medio de la creación de huertas comunitarias para su sustento (Imagen 16), En la revista Ecologista se mencionan los diferentes tipos de huertas, basados en ello se determina que las huertas existentes en ambos terrenos cumplen con las características que las describen como comunitaria (Imagen 17).



Imagen 16. Poster informativo (Alcaldía de Medellín, s.f).

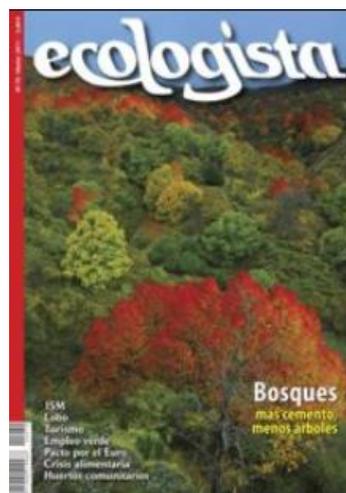


Imagen 17. Revista ecologista, huertos comunitarios (Fernandez,2011).

Del proyecto “Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas” (Sánchez, 2010), se obtuvo que la caracterización del suelo es franco arenoso con contenido de limo y materia orgánica (Tabla 6) condiciones que coinciden desde la identificación visual del suelo realizada en las visitas de campo en las cuales fue posible observar un terreno arenoso con un perfil de materia orgánica.

Además, en concordancia con lo observado y con la disponibilidad de información secundaria confiable, desde el “Plan Parcial de Mejoramiento Integral del barrio Moravia” realizado por Planeación Municipal de la Alcaldía de Medellín se procede a tomar los parámetros geotécnicos de dicho tipo de suelo con antecedentes de botadero. Es un lleno de basura rígida con los parámetros geotécnicos: ángulo de fricción  $\phi=30^\circ$ , cohesión  $C'=5\text{kN/m}^2$ , peso específico  $\gamma_d=16\text{kN/m}^3$ , módulo elástico  $E=15\text{MPa}$  y Relación de Poisson  $\mu=0.35$  (Tabla 7). Los parámetros anteriores al compararlos con datos obtenidos de correlaciones en la literatura técnica (Imagen 18 y 19), efectivamente corresponden a una arena limosa.

**Tabla 6.** propiedades geofísicas y químicas de la matriz de residuos en lotes seleccionados del cerro de basuras de Moravia según Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial biorremediador de especies nativas e introducidas (Sánchez, 2010).

Propiedades	M1	M3	M5	M7
Arena (%)	66	32	68	60
Limo (%)	24	36	20	24
Arcilla (%)	10	32	12	16
Clasificación	Franco arenoso	Franco arcilloso	Franco arenoso	Franco arenoso
Materia orgánica (%)	12,9	1	9,1	7,8

**Tabla 7.** Parámetros geotécnicos, Plan Parcial de Mejoramiento Integral del barrio Moravia (Alcaldía de Medellín - Planeación Municipal).

Material	$\Phi(^{\circ})$	$C' (kN/m^2)$	$\gamma d (kN/m^3)$	$Vs(m/seg)$	$E (kPa)$	$\mu$
Lleno Basura Rígida	30	5	16	80	15	0,35

▼ TABLA 1.5 Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco, típicos para algunos suelos

Tipo de suelo	Relación de vacíos e	Contenido de agua natural en condición saturada (%)	Peso específico seco, $\gamma_s$ (lb/ft <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
Arena uniforme suelta	0,8	30	92	14,5
Arena uniforme densa	0,45	16	115	18
Arena limosa suelta de grano anguloso	0,65	25	102	16
Arena limosa densa de grano anguloso	0,4	15	120	19
Arcilla dura	0,6	21	108	17
Arcilla suave	0,9-1,4	30-50	73-92	11,5-14,5
Loes	0,9	25	86	13,5
Arcilla orgánica suave	2,5-3,2	90-120	38-51	6-8
Morrena glacial	0,3	10	134	21

▼ TABLA 4.5 Parámetros elásticos para varios suelos

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E		Relación de Poisson, $\mu$
	lb/pulg <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	
Arena suelta	1,500-3,500	10,35 - 24,15	0,20-0,40
Arena densa media	2,500-4,000	17,25 - 27,60	0,25-0,40
Arena densa	5,000-8,000	34,50 - 55,90	0,30-0,45
Arena limosa	1,500-2,500	10,35 - 17,25	0,20-0,40
Arena y grava	10,000-20,000	68,90 - 142,90	0,15-0,30
Arcilla suave	600-3,000	4,1 - 20,7	0,20-0,50
Arcilla media	3,000-6,000	20,7 - 41,4	0,20-0,50
Arcilla firme	6,000-14,000	41,4 - 96,6	0,20-0,50

**Imagen 18.** Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco, típicos para algunos suelos, (Das,2015).

**Imagen 19.** Parámetros elásticos para varios suelos, (Das,2015).

**Tabla 8.** Relación de vacíos, peso específico seco y parámetros elásticos de la arena limosa, (Das,2015).

Tipo de suelo	Relación de vacíos e	$\gamma d(kN/m^3)$	E (MN/m <sup>2</sup> )	$\mu$
Arena limosa suelta de grano anguloso	0,65	16	10,35-17,25	0,2-0,4

Los proyectos “Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas” (Santizo, 2011) y “Estructura e instalaciones de un invernadero” (Gassó y Solomando, 2011) contienen información crucial sobre ventajas y desventajas de todos los tipos de invernaderos (Imagen 20 y21), estos datos fueron reportados en el marco teórico de este documento. Las estructuras para uso como invernadero o protección de cultivos, no son sometidos a la exigencia de licencia de construcción, ni estudios geotécnicos, pero si conocer el uso del suelo de acuerdo al POT, esto es establecido en una circular externa del Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el 2004 (Imagen 22).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



"Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas"

POR:

HOREL LUCIO SANTIZO VELÁZQUEZ

MONOGRAFÍA

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2011

PROYECTO FINAL DE CARRERA

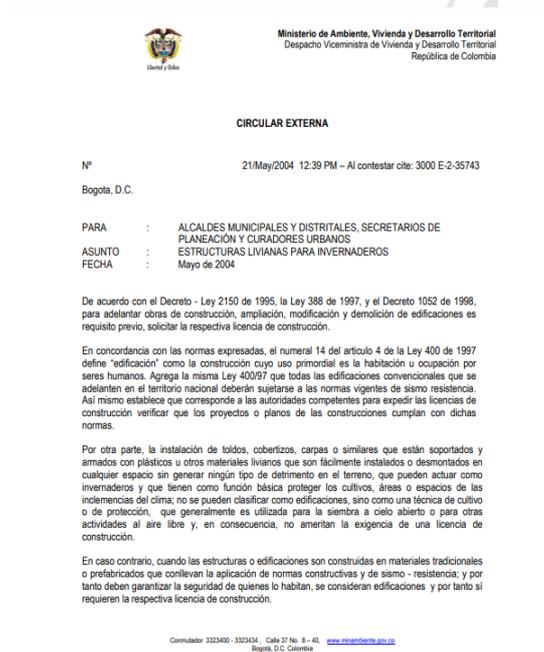


Barcelona, 12 de Enero de 2011

Tutor proyecto: Daniel Di Capua  
Departamento de Mecánica (Dm)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

*Imagen 20. Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas (Santizo, 2011).*

*Imagen 21. Estructura e instalaciones de un invernadero (Gassó y Solomando, 2011).*



*Imagen 22. Circular Externa (Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).*

En la página de infoagro se puede encontrar el origen, la taxonomía, morfología, plantación, abonado, temperatura, entre muchos otros datos, de tipos de semillas, tanto frutales como aromáticas, hortalizas, cítricos, y demás. El reporte de dicha información también fue realizada previamente en el marco teórico de este documento.

Según el SIATA en el sector de ambas huertas existen dos estaciones que brindan la información adecuada por la cercanía a los terrenos de interés, una ubicada en el barrio Villa

Guadalupe en la comuna 1 en la ciudad de Medellín en la calle 98 con carrera 47A, Estación #158 - Q. La Rosa y la otra en el barrio Santa Rita en la comuna 11 en el municipio de Bello en la carrera 49B con la calle 125, Estación #150 - Cañada Negra. Los datos de estas dos Estaciones se muestran en la Imagen 23. En la Imagen 24 se evidencia que la temperatura de la zona fluctúa entre 18° C y 22° C en promedio y la pluviosidad es aproximadamente de 15 a 30 mm por semana.

Estación 158. Q. La Rosa		Estación 150. Canada Negra - Nivel	
Series Niveles de riesgo Descripción Geomorfología		Series Niveles de riesgo Descripción Geomorfología	
Coberturas Perfil		Coberturas Perfil	
Área cuenca:	0.37 [km <sup>2</sup> ]	Área cuenca:	3.18 [km <sup>2</sup> ]
Perímetro cuenca:	2.17 [km]	Perímetro cuenca:	7.3 [km]
Long. Cauce:	1.19 [km]	Long. Cauce:	4.01 [km]
Hmax cauce:	1770.0 [msnm]	Hmax cauce:	2556.0 [msnm]
Hmin cuenca:	1558.0 [msnm]	Hmin cuenca:	1536.0 [msnm]
Pendiente media cauce:	18.91 [%]	Pendiente media cauce:	28.52 [%]
Pendiente media cuenca:	26.62 [%]	Pendiente media cuenca:	40.01 [%]
Densidad drenaje:	5.68 [km/km <sup>2</sup> ]	Densidad drenaje:	7.08 [km/km <sup>2</sup> ]
T concentracion medio:	12.8 [min]	T concentracion medio:	23.49 [min]
T concentracion mediana:	8.56 [min]	T concentracion mediana:	19.89 [min]
Porcentaje urbanizado:	100.0 [%]	Porcentaje urbanizado:	30.2 [%]
Desnivel máximo:	328.0 [m]	Desnivel máximo:	1039.0 [m]

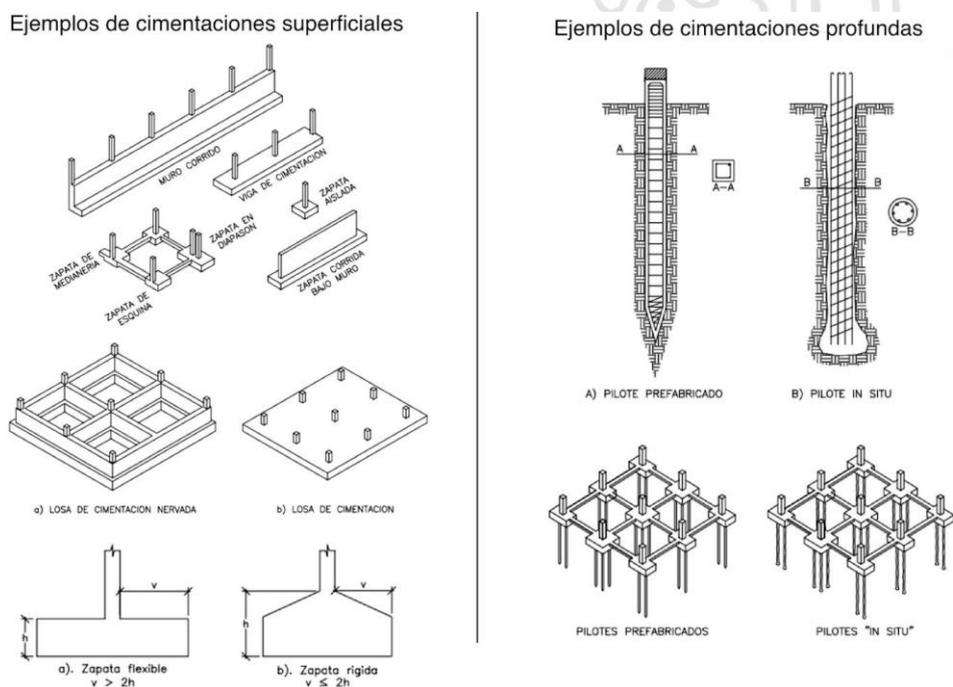
Q. La Rosa		Canada Negra - Nivel	
Descripción		Descripción	
Area[km <sup>2</sup> ]:	0.37	Area[km <sup>2</sup> ]:	3.206
Elevacion[m]:	1709.5400390625	Elevacion[m]:	2017.6199951171875
Pendiente media[%]:	26.62	Pendiente media[%]:	43.0
Perimetro[km]:	2.17	Perimetro[km]:	6.84
Centro X:	-75.5479965209961	Centro X:	-75.53500366210938
Centro Y:	6.289000034332275	Centro Y:	6.298999786376953

**Imagen 23.** Geomorfología y descripción de la estación #150 y la estación #158 (SIATA,2020).



**Imagen 24.** Temperatura y pluviosidad en los barrios Granizal y la Avanzada (SIATA,2020).

En las páginas web “Tipos de Cimentación” (Pacheco-Rivas Igma, 2017) (Imagen 25), “Cimentaciones” (Montoya y Pinto, 2010) (Imagen 26) se encontraron las tipologías para cimentaciones para estructuras pesadas, explica bien los tipos de cimentaciones que existen y sus características. El piloadre es tipo de cimentación superficial nueva, sencilla y fácil de calcular (Agudelo Zapata, 2015), la cual también es útil para este tipo de proyectos (Imagen 27).



**Imagen 25.** Tipos de Cimentación (Pacheco-Rivas Igma, 2017).



## CIMENTACIONES

Realizado por:  
Montoya Javier C.I.: 16.200.480  
Pinto Vega Francisco C.I.: 18.964.152

Prof. Norly Belandria  
Cátedra: Geotecnia

Mérida, agosto de 2010

**Imagen 26. Cimentaciones**  
(Montoya y Pinto, 2010).



**Imagen 27. Piloedre** (Agudelo Zapata, 2015).

### **3. Toma de muestras en los terrenos a tratar, para el análisis geotécnico.**

Con los parámetros geotécnicos obtenidos del terreno similar por no tener muestras de los terrenos de ambas huertas dada la contingencia, y haciendo comparación con los obtenidos en las correlaciones en Das (2001), se trabajó finalmente con los parámetros geotécnicos: Ángulo de fricción ( $\Phi$ ) ( $^{\circ}$ )=30, Cohesión (c) (kPa)=5, Peso específico seco ( $\gamma_d$ ) (kN/m<sup>3</sup>)=16, Módulo de elasticidad (E) (kPa)=15000 y Relación de Poisson ( $\mu$ )=0.3.

### **4. Realización de diferentes ensayos de laboratorio para la determinación de propiedades del suelo de las zonas.**

Como método solución a la falta de disponibilidad de datos, como fue mencionado anteriormente, se pudo acceder a fuentes in formación secundaria que suministraran datos confiables para la toma de decisiones de este diseño.

En el barrio Moravia se han realizado diferentes estudios, más focalizados hacia el ámbito social, aunque con la inclusión de aspectos técnicos referentes al terreno del cerro de Moravia como ejemplo de transformación del espacio urbano. Para tal fin fue posible encontrar datos

de estudio de suelos de este terreno, en los más relevantes para el presente proyecto se hallan los siguientes datos:

- La clasificación del suelo es 'Franco Arenoso' con contenido de limo y materia orgánica (Sánchez, 2010).
- Es un lleno de basura rígida con los parámetros geotécnicos:  $\phi=30^\circ$ ,  $C'=5\text{kN/m}^2$ ,  $\gamma_d=16\text{kN/m}^3$ ,  $E=15\text{MPa}$  y  $\mu=0.35$  (Alcaldía de Medellín- Planeación municipal).

Comparando los datos anteriores con las correlaciones ya existentes en bibliografía técnica (Das, 2001), (Bowles, 1982), se evidencian parámetros geotécnicos similares para una misma tipología de suelo. Se decide entonces, tratar el suelo como una arena limosa (SM) con porcentaje de materia orgánica, por ende, el valor del ángulo de fricción, propiedad del material importante para determinar la resistencia al corte del suelo, se asumirá de  $30^\circ$  por tener gran porcentaje de arena; a su vez la cohesión, cualidad del terreno en donde las partículas se mantiene unidas gracias a fuerzas internas, y puesto que para las arenas el valor de este es casi nulo y para el limo es muy poco, se toma una cohesión de  $5\text{kN/m}^2$ .

Teniendo en cuenta dicha elección se seleccionan los valores de los parámetros geotécnicos a utilizar, basado en las correlaciones antes mencionadas (imagen 18 y 19) y en los datos de los estudios realizados en Moravia, ilustrados en la tabla 9.

**Tabla 9.** Parámetros Geotécnicos (Alcaldía de Medellín- Planeación Municipal).

Ángulo de fricción ( $\Phi$ ) ( $^\circ$ )	Cohesión ( $c'$ ) (kPa)	Peso específico seco ( $\gamma_d$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )	Módulo de elasticidad (E) (kPa)	Relación de Poisson ( $\mu$ )
30	5	16	15000	0.3

\* El peso específico seco es la relación del peso del material y su volumen, propio de cada material; el módulo de elasticidad es un parámetro que muestra el comportamiento elástico del suelo a tratar; y la relación de Poisson propio de cada material, indica la deformación de un pedazo de material ante la aplicación de ciertos esfuerzos, es el resultante de la división entre la deformación transversal y longitudinal (Bowles, 1982).

## 5. Generación de propuestas preliminares de diseño estructural con distintas características para oportuna elección.

- Estructura:

En la Tabla 10 se muestran las necesidades de cada una de las huertas a intervenir.

**Tabla 10.** Necesidades identificadas en las huertas comunitarias específicamente sus invernaderos.

Huerta comunitaria barrio Granizal
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita espacio para uso de la comunidad.</li> <li>• Se precisa ubicar el invernadero en otro espacio, puesto que el anterior invernadero es el espacio idóneo para el uso de la comunidad por su planicie.</li> <li>• A la hora de mover el invernadero, se debe tener en cuenta no interferir con el buen funcionamiento del muro de contención allí presente.</li> <li>• El nuevo invernadero no puede ser ubicado en la parte superior del terreno puesto que es un terreno demasiado inclinado, ni a la parte izquierda del terreno donde se encuentra ubicado el bosque en un terreno también bastante inclinado y tampoco en la parte central porque allí se encuentra la huerta</li> </ul>

comunitaria bien conformada.

- Las opciones para el nuevo invernadero son bastante limitadas, la primera sería en un espacio pequeño en la parte inferior del terreno muy cerca al muro de contención y diagonal al ya existente; la segunda, en el mismo invernadero existente, pero con un sistema logístico diferente, o la tercera, en la parte centro inferior del terreno, anqué en este ultimo la pendiente es considerable y además hay que considerar que este espacio fue utilizado para depositar basuras muchos años y no se sabe si es estable.

#### **Huerta comunitaria barrio La Avanzada**

- Se necesita la ampliación del restaurante para un mejor aprovechamiento del espacio.
- Se requiere un nuevo invernadero ya que el existente ya culminó su vida útil.
- Es necesaria una nueva ubicación para este invernadero puesto que el espacio donde desean ampliar el restaurante es donde se encuentra el actual.
- Dado que en la parte central del terreno se encuentra ubicada la huerta ya conformada, no se debe tener en cuenta para la reubicación del invernadero.
- Las dos opciones coherentes para la reubicación del invernadero son la parte superior del terreno encima del nuevo espacio del restaurante, el cual debe tener una muy buena resistencia para soportar el peso de dicho invernadero, o la parte inferior del terreno en el que hay suficiente espacio para el invernadero y la zona de compostaje, esta última por motivos de salud y de higiene se recomienda moverlo a la parte más alejada del restaurante, por ende, esta sería la mejor opción.

Se decidió ubicar el invernadero de la huerta del barrio La Avanzada en la parte inferior del terreno y el invernadero de la huerta del barrio Granizal a un costado del existente, el motivo de ambas elecciones se esclarece en la tabla anterior.

El tipo de cultivo actual de ambas huertas son las mencionadas en la tabla 11, en donde se indica la altura promedio y la temperatura adecuada para estas semillas.

*Tabla 11. Tipos de semillas plantadas en ambas huertas a intervenir.*

<b>Tipo de semilla</b>	<b>Altura promedio (cm)</b>	<b>Temperatura adecuada (°C)</b>
Apio	30-80	7-10
Brócoli	18-20	20-24
Cebolla	80-150	24
Cilantro	30-40	<21
Coliflor	20-30	15.5-21.5
Lechuga	25	18-20
Tomate	Depende tipo de tomate	20-30
Zanahoria	<150	16-18
Tomillo	10-40	Sin restricciones
Azafrán	10-25	25-35
Orégano	30-80	15-20
Perejil común	<40	Sin restricciones

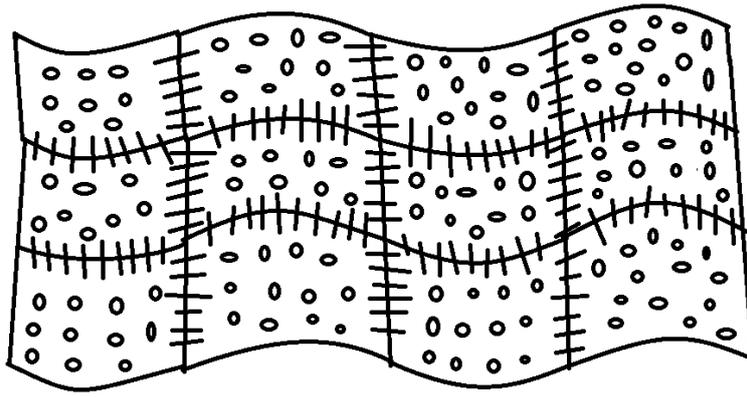
Haciendo un recuento de necesidades que se precisan en ambas huertas ubicadas en el barrio Granizal y en el barrio La Avanzada, y teniendo en cuenta que sus condiciones socio económicas, culturales y climáticas son muy parecidas por estar en cuencas con condiciones similares además de ser barrios limitantes, se determina por concepto del autor, que la viabilidad del tipo de invernadero para estas dos huertas es la misma. A continuación, se presenta la tabla 12 con el porcentaje de viabilidad de cada tipo de invernadero y la razón de

este, dicho porcentaje fue producto de la evaluación de ventajas y desventajas realizado por el autor de este proyecto por medio de concepto propio.

*Tabla 12. Viabilidad de invernaderos en las huertas de los barrios Granizal y La Avanzada.*

Tipo de Invernadero	Viabilidad (%)		¿Por qué?
	Si	No	
<b>Túnel o semicilíndrico</b>	5%	95%	Tiene buena ventilación, luminosidad y drenaje de aguas lluvia, es una estructura de metal y por ende de fácil instalación, pero de un costo demasiado elevado cosa que para este caso no es factible.
<b>Capilla</b>	95%	5%	Su construcción y mantenimiento son de muy bajo costo, cosa que es importante en este proyecto, además acepta cualquier tipo de plástico, la ventilación en este es muy buena y excelente manejo de aguas lluvia, lo único malo que tiene este tipo de invernadero es que a la hora de necesitar varias estructuras la ventilación no es buena, pero esto no afecta en este caso ya que solo se precisa una estructura.
<b>Dientes de sierra</b>	30%	70%	Tiene buena ventilación por su forma, aunque por su complejidad de construcción no es viable, además de su alta sombra ocasionada por sus elementos estructurales y no concentra bien el aire por sus aperturas en techo.
<b>Asimétrico o inacral</b>	60%	40%	Buen drenaje de aguas lluvia importante para zonas con pluviosidad considerable como Medellín, es económico, algo que se debe ser un factor importante a la hora de elección, es de buena ventilación y además resistente a vientos, aunque pierde calor pro su gran superficie, no aprovecha las aguas lluvias y cambiar el plástico es difícil.
<b>En raspa y amagado</b>	30%	70%	Es económico, tiene buen espacio libre para el buen mantenimiento de los cultivos, pero no hace uso de las aguas lluvias y además es de un mantenimiento costoso por su dificultad y no contiene el calor suficiente.
<b>Parral o plano</b>	40 %	60%	Su bajo costo en términos de material es un punto a favor, entra suficiente radiación para el buen manejo de las plantas, pero este se encuentra en la ciudad de Medellín con una precipitación promedio anual de 1263 mm (Gobernación de Antioquia, 2016), y este tipo de invernadero no cuenta con una buena capacidad de drenaje y también tiene un riesgo alto de rotura.
<b>De cristal o venlo</b>	0%	100%	Es una estructura con una complejidad muy alta además de unos materiales poco prácticos para este caso sin contar con su elevado costo.

El tipo de invernadero elegido por su viabilidad con respecto al terreno y la temperatura, además de las cualidades importantes como lo es la facilidad de construcción y economía es el tipo capilla. La distribución interna será de forma vertical en forma de estanterías para el aprovechamiento del espacio cuyas y en lugar de plástico para invernadero, se recomienda el uso de botellas de plástico perforadas y cocidas entre sí para un empalme tipo pared (Imagen 28), el cual permite una buena ventilación y retención del calor dentro del invernadero.



*Imagen 28. Empalme tipo pared con botellas de plástico perforadas y cocidas (Elaboración propia).*

Se decidió tener una altura de 4 metros, tomando en cuenta la altura del invernadero anterior de las dos huertas a interferir, la distribución de los nuevos invernaderos y el tipo de semillas a cultivar. Las dimensiones de la estructura elegida son mostradas en la tabla 13, escogidas a partir de las necesidades evidenciadas en cada una de las huertas, a la elección de la distribución interna mencionada anteriormente, al aprovechamiento del espacio y al espacio viable disponible. La siguiente tabla contiene además la cantidad de columnas de guadua necesarias para el correcto funcionamiento de la estructura junto con las dimensiones de ésta y la separación entre dichas columnas debe ser de 3 metros medidas desde su centro.

*Tabla 13. Dimensiones de la estructura y cantidad de columnas para ambas huertas.*

	Huerta Granizal	Columna para Huerta Granizal	Huerta La Avanzada	Columna para Huerta La Avanzada
<b>Altura (m)</b>	4	4	4	4
<b>Largo (m)</b>	9.1	-	9.1	-
<b>Ancho (m)</b>	3.1	-	6.1	-
<b>Diámetro (cm)</b>	-	10	-	10
<b>Cantidad</b>	-	8	-	12

- Subestructura:

Haciendo referencia a lo exigido por la norma concerniente a la carga y el factor de seguridad descrito en el aparte 2 de los resultados y análisis del proyecto, las estructuras de ambas huertas son mucho menores en comparación con las de categoría baja allí mencionadas y no van a tener carga viva asociada considerable, solo la carga de viento, es por esto que se decidió tomar una carga de 100 kN para cada una de las estructuras de ambos invernaderos, que permitirá tener gran cantidad de carga viva dentro de estos de hasta 100 personas considerando alguna eventualidad; también un factor de seguridad de 3, para mayor tranquilidad.

Sabiendo que la capacidad de carga, es el esfuerzo que se ejerce en el suelo por una cimentación, se deben calcular tanto la última como la admisible; la capacidad de carga última es el valor de dicho esfuerzo que sucede cuando el subsuelo ya no resiste y se produce una falla en este; y la admisible, es el esfuerzo que ejerce la cimentación para que el suelo soporte

sin tener ningún tipo de falla, ésta se obtiene a partir del cociente de la capacidad de carga última y el factor de seguridad (Bowles, 1982).

El asentamiento total (movimiento del terreno debido a aplicación de cargas) que produce una estructura, es el resultado de la suma del asentamiento inmediato y del asentamiento a largo plazo; el asentamiento elástico o inmediato, sucede al poco tiempo de la construcción de una estructura, porque el suelo no se encuentra adaptado al peso que la estructura le está adicionando; el asentamiento por consolidación primaria y secundaria o a largo plazo, se presenta continuamente al transcurrir el tiempo y es característico de las arcillas; en el proyecto por tratarse de un terreno que desde su visualización se evidencia que está compuesto en gran proporción de arena, se tomara como inexistente el componente por consolidación o asentamiento a largo plazo, entonces, el asentamiento elástico o inmediato es el asentamiento total.

Se realizó la verificación del diseño de la cimentación en una hoja de cálculo en Excel para la determinación de la capacidad de carga y asentamientos mostrados en la imagen 29 y la imagen 30.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1						Meyerhof	Nc	Nq	N <sub>γ</sub>				
2							30,14	18,40	15,67				
3		Carga					Sc	Sq	S <sub>γ</sub>				
4		P	100	kN			1,60	1,30	1,30				
5		β	0	°			dc	dq	d <sub>γ</sub>				
6		V	100	kN			1,35	1,17	1,17				
7		H	0	kN			ic	iq	iy				
8							1,00	1,00	1,00			q <sub>ult</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	612,9163
9							Ca	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	m = mb		q <sub>adm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	204,3054
10		Suelo					---	---	---	---		Q <sub>adm</sub> [kN]	204,3054
11		Cohesión (c)	5	kPa			q <sub>ult</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>adm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>adm</sub> [kN]				
12		φ	30	°			572,32	190,77	190,77				
13		γ	16	kN/m <sup>3</sup>		Hansen	Nc	Nq	N <sub>γ</sub>				
14							30,14	18,40	15,07				
15		Coef Pasiva (K <sub>p</sub> )	3				Sc	Sq	S <sub>γ</sub>				
16		γ a usar	6,19	kN/m <sup>3</sup>			1,61	1,50	0,60				
17		Carga efectiva q'	6,19	kN/m <sup>2</sup>			dc	dq	d <sub>γ</sub>				
18		D/B	1	rad			1,40	1,29	1,00				
19							ic	iq	iy				
20		Cimentación					1,00	1,00	1,00				
21		Df	1	m			Ca	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	m = mb			
22		B	1	m			5,00	2,50	3,50	---			
23		L	1	m			q <sub>ult</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>adm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>adm</sub> [kN]				
24		A	1	m <sup>2</sup>			587,95	195,98	195,98				
25		q	6,19	kN/m <sup>2</sup>		Vesic	Nc	Nq	N <sub>γ</sub>				
26		FS	3				30,14	18,40	22,40				
27		B'	1	m			Sc	Sq	S <sub>γ</sub>				
28		L'	1	m			1,61	1,58	0,60				
29		ex	0	m			dc	dq	d <sub>γ</sub>				
30		ey	0	m			1,40	1,29	1,00				
31		As	1				ic	iq	iy				
32		Inclinación en dirección de Base [B] o Longitud [L]			B		1,00	1,00	1,00				
33							Ca	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	m = mb			
34							5,00	---	---	1,50			
35							q <sub>ult</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>adm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>adm</sub> [kN]				
36							612,92	204,31	204,31				
37													
38													
39													
40													

Imagen 29. Cálculos de capacidad de carga extraídos de la hoja de cálculo de Excel.

Como se observa en la imagen 29, para el cálculo de la capacidad de carga, se tomaron: como 0 la inclinación de la carga respecto a la vertical ( $\beta$ ) por elegir una cimentación totalmente vertical, los valores de los parámetros geotécnicos antes mencionados en el punto 4 de los

resultados y análisis del proyecto (tabla 9) y una base de la cimentación (B) de 1 metro, el ancho (A) de ésta de 1 metro y la profundidad de desplante (Df) medida desde la superficie del terreno hasta el inicio de la zapata de 1 metro; además, se utilizaron las fórmulas determinadas por Meyerhof, Hansen y Vesic, para realizar una comparación de los resultados, y comprobar que el tomado es el indicado.

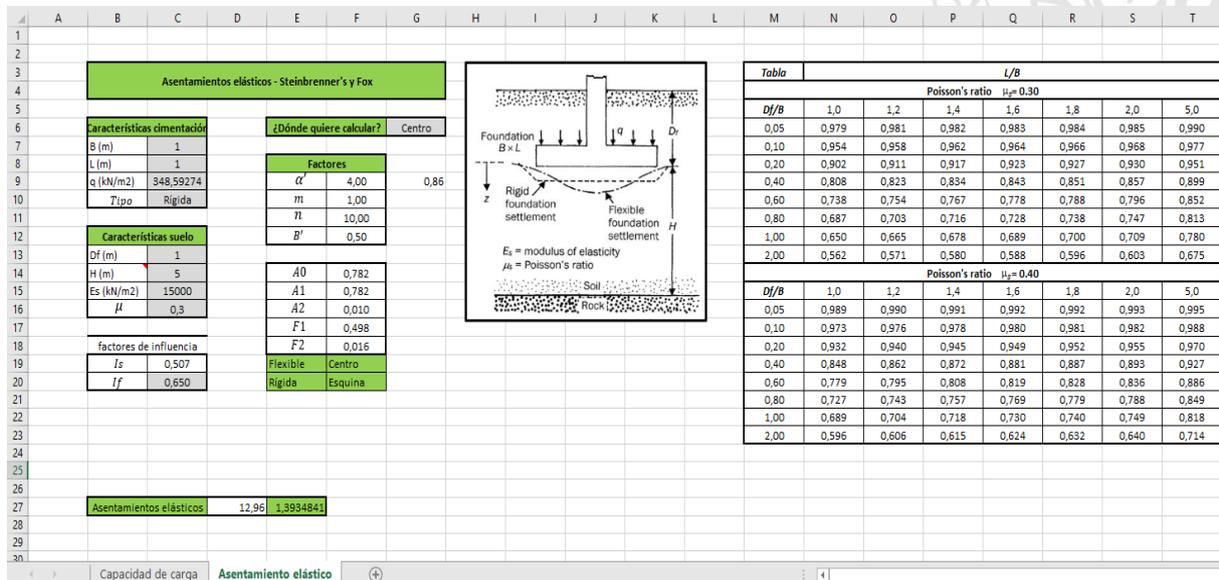


Imagen 30. Cálculos de asentamiento extraídos de la hoja de cálculo de Excel

El valor del factor  $\alpha'$  (mostrado en la imagen 30) para un asentamiento calculado en su centro es de 4 y para un asentamiento calculado en una esquina es de 1, por esto, se tomó el valor del factor  $\alpha' = 1$ , puesto que la cimentación más viable para este proyecto es una cimentación cuadrada, rígida, y el cálculo del asentamiento será en el centro de la zapata; el factor de influencia es indispensable para el cálculo del asentamiento elástico y es determinado conociendo la relación de Poisson antes elegido y las dimensiones de la cimentación.

A continuación, se mostrarán en la tabla 14 los resultados de ambos cuyo cálculo se encuentra en la hoja de Excel adjunta a este documento (imagen 29 y 30), junto con el valor de asentamientos a 20 años para una construcción aislada según la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Tabla 14. Capacidad de carga y Asentamientos.

$q_{ultimo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{admisible}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_{adm\ neto}$ (kN)	Asentamiento elástico (cm)	Asentamiento admitido a 20 años (NSR-10) (cm)
1045.8	348.6	348.6	1.39	30

Al tomar datos de referencia para el cálculo de la cimentación de una estructura, se debe tener en cuenta un rango de error del resultado obtenido por posibles variaciones del terreno, por este motivo se eligen los datos más desfavorables con respecto a cargas, factor de seguridad, entre otros, para un tipo de estructura como la que se va a realizar en ambas huertas para el

cálculo de la cimentación y los asentamientos producidos, pero de la anterior tabla se puede concluir fácilmente que cumple con lo exigido por la norma.

Con los valores anteriores se decide que las estructuras de ambas huertas constarán de una cimentación superficial con 4 zapatas aisladas cuadradas en total, una en cada esquina de la estructura y pilares cimentados cuadrados en las columnas restantes, ambas con un recubrimiento de columnas de 25 cm para protección contra el agua; las dimensiones, cantidad y posición en ambas huertas son mostrados en las imágenes de la 31 a la 36, también se encuentran adjuntos a este documento los planos completos. Los principales criterios para la elección de la cimentación de ambas huertas son las características de los terrenos, su historial, la estabilidad de la estructura, la economía que dicha cimentación ofrece y facilidad de construcción de la misma. No se optó por el resto de cimentaciones mencionadas en el marco teórico por cuestiones de fiabilidad, protección a las columnas, viabilidad, durabilidad y economía de la zapata aislada y los pilares cimentados escogidos para este proyecto; además, tampoco se optó por la viga de cimentación para unir las zapatas aisladas por ser más robusta y con dimensiones más grandes, por ende, más costosa, gasto innecesario para una estructura tan pequeña y liviana.

- Planos de estructura y subestructura:

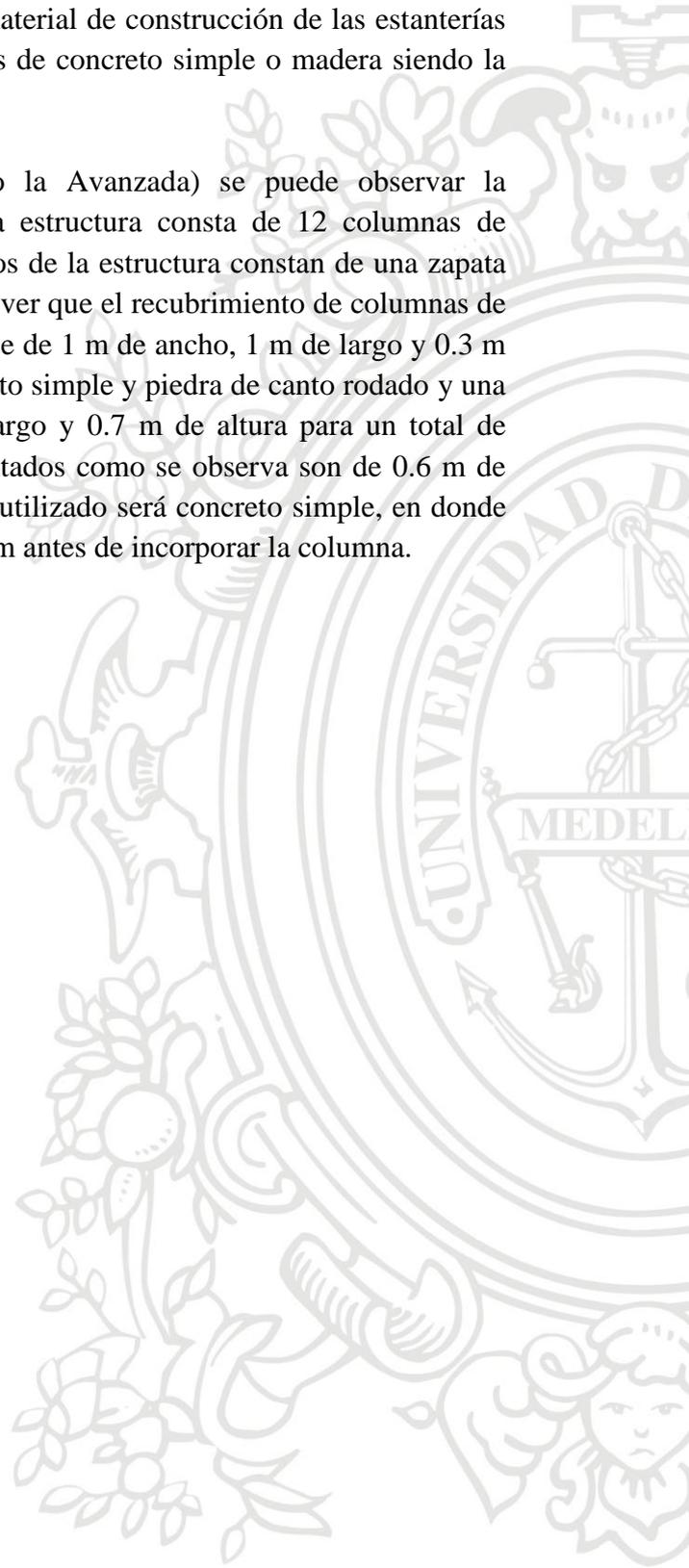
En la imagen 31 (plano #1, Vistas Barrio la Avanzada), se muestra la vista superior, lateral y frontal del invernadero, en donde se observa que se trata de una estructura de 9.1 m de largo, 6.1 m de ancho y 4 m de altura ya citados anteriormente; tiene una pendiente de  $5^\circ$  en el techo el cual favorece para la extracción correcta de aguas lluvia, y es producido por el mismo terreno inclinado; además se observa que entre cada columna existe un distanciamiento de 3 m medidos desde su centro y cada columna tiene un diámetro de 10 cm, dichas columnas son de guadua estructural.

Las puertas también de guadua, son dos, una situada en la parte exterior para el ingreso a la zona al invernadero y la otra en la parte interior; el marco tiene una altura de 2 m, un ancho de 1.2 m y la puerta será entonces de 1 m de ancho y 1.8 m de altura.

En la imagen 32 (plano #2, Planta Barrio la Avanzada) se muestra la vista en planta o el corte A-A' ilustrados en la imagen 31 y 2 cortes (C-C' y D-D') realizados a la vista en planta del invernadero, en donde se observa que la estructura se divide en 2 para delimitar el espacio de compostaje con el espacio de siembra de semillas; la zona de compostaje se encuentra justo al ingresar, el espacio destinado para este tiene un área de  $13.33 \text{ m}^2$ , está delimitada y protegida por una capa de concreto a sus alrededores de 5 cm de espesor y altura de 50 cm; y el espacio de siembra de semillas tiene un ingreso por la puerta interior y consta de 4 estanterías de semillas de 88 cm de ancho, 2.1 m de altura los cuales estarán divididos en 3 estantes con espacio de 90 cm entre sí, suficiente para el óptimo crecimiento de las semillas, el distanciamiento entre las bases de apoyo de dicha estantería es de 1.1 m, y un espesor de 5 cm; las estanterías 1 y 2 tienen un largo de 5.8 m, la estantería 2 tiene un detalle cortado para la óptima apertura de la puerta interior, lo cual disminuye su ancho en ese punto a 60 cm, las

estanterías 3 y 4 tiene un largo de 4.65 m; acomodar las estanterías de esta manera proporcionara un espacio para transitar suficientemente amplio y cómodo de 1 m lo que permite no interferir con la estructura puesto que todas las estanterías se encuentran a 5 cm de las columnas y a 15 del plástico o poli sombra. El material de construcción de las estanterías queda a elección del propietario, puede ser en placas de concreto simple o madera siendo la primera opción más duradera y resistente.

En la imagen 33 (plano #3, Cimentación Barrio la Avanzada) se puede observar la cimentación de la estructura de invernadero, dicha estructura consta de 12 columnas de guadua estructural, de las cuales las 4 de los extremos de la estructura constan de una zapata aislada y el restantes de pilares cimentados, se puede ver que el recubrimiento de columnas de ambas es de 25 cm; las zapatas aisladas tiene una base de 1 m de ancho, 1 m de largo y 0.3 m de espesor en concreto ciclópeo que consta de concreto simple y piedra de canto rodado y una columna de zapata de 0.6 m de ancho, 0.6 m de largo y 0.7 m de altura para un total de profundidad de desplante de 1 m; Los pilares cimentados como se observa son de 0.6 m de ancho, 0.6 m de largo y 1 m de altura, y el material utilizado será concreto simple, en donde en la parte inferior tendrá un grosor o espesor de 0.3 m antes de incorporar la columna.



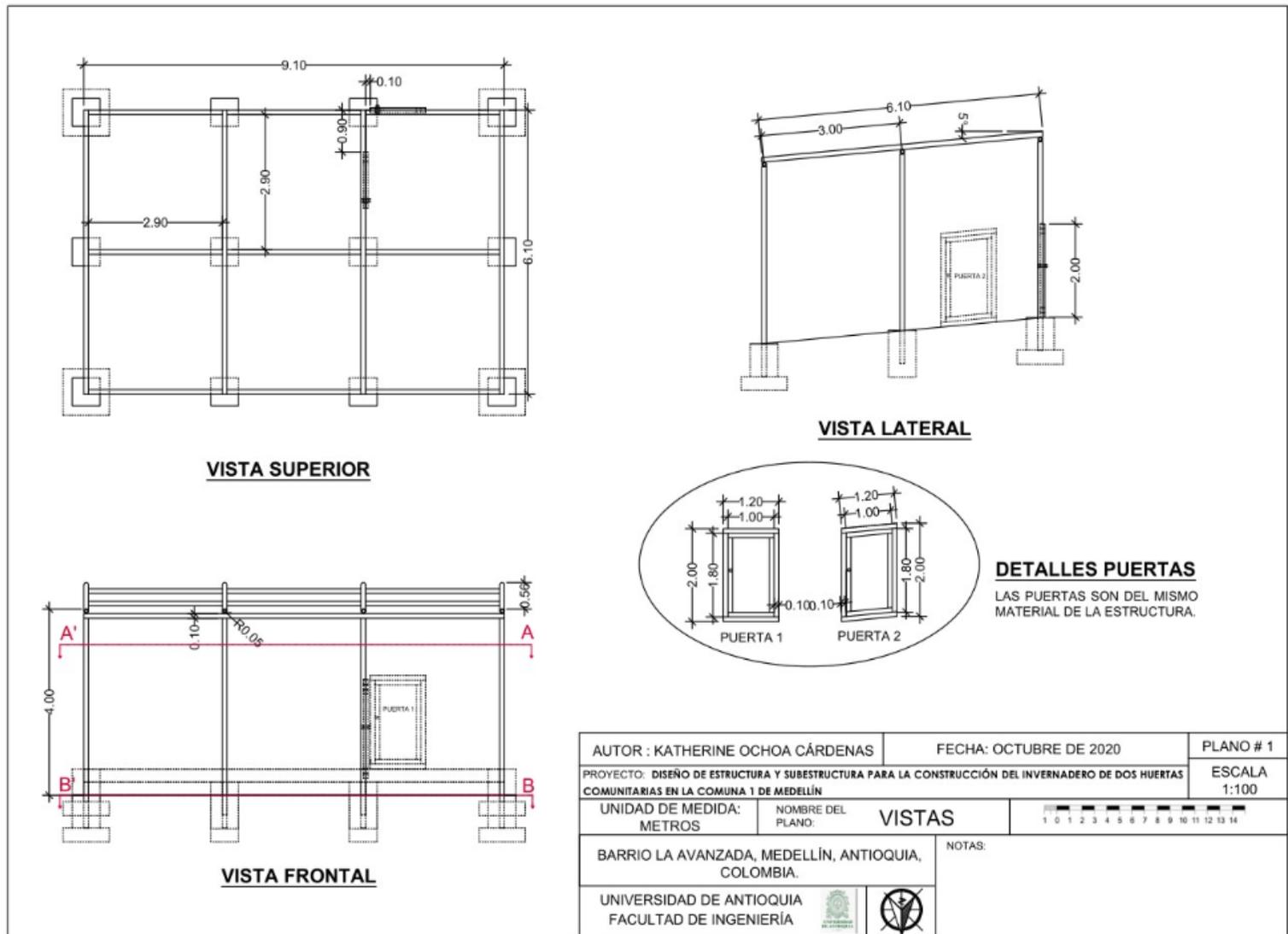


Imagen 31. Plano #1 Vistas, Barrio La Avanzada.

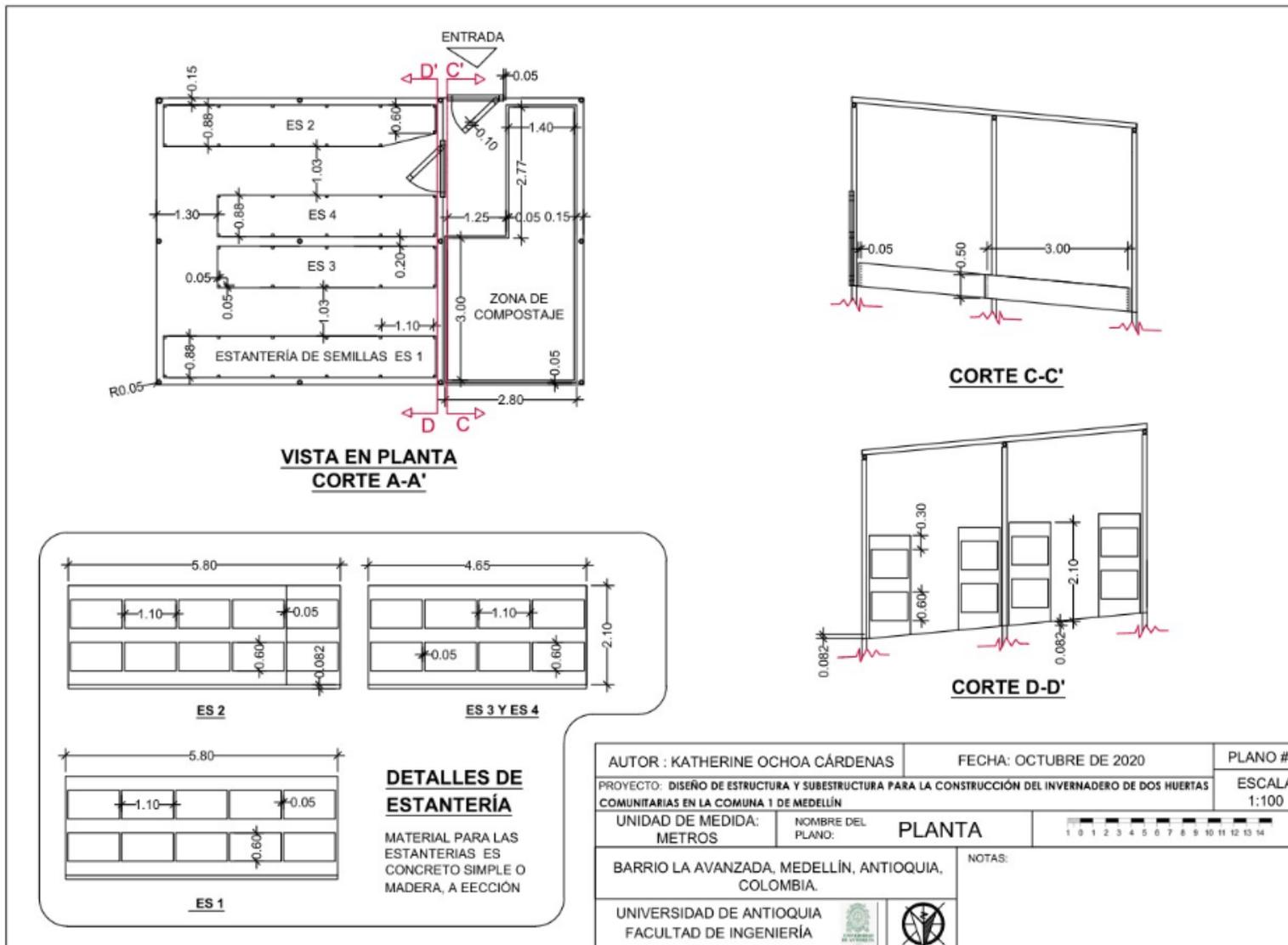


Imagen 32. Plano #2 Planta, Barrio La Avanzada.



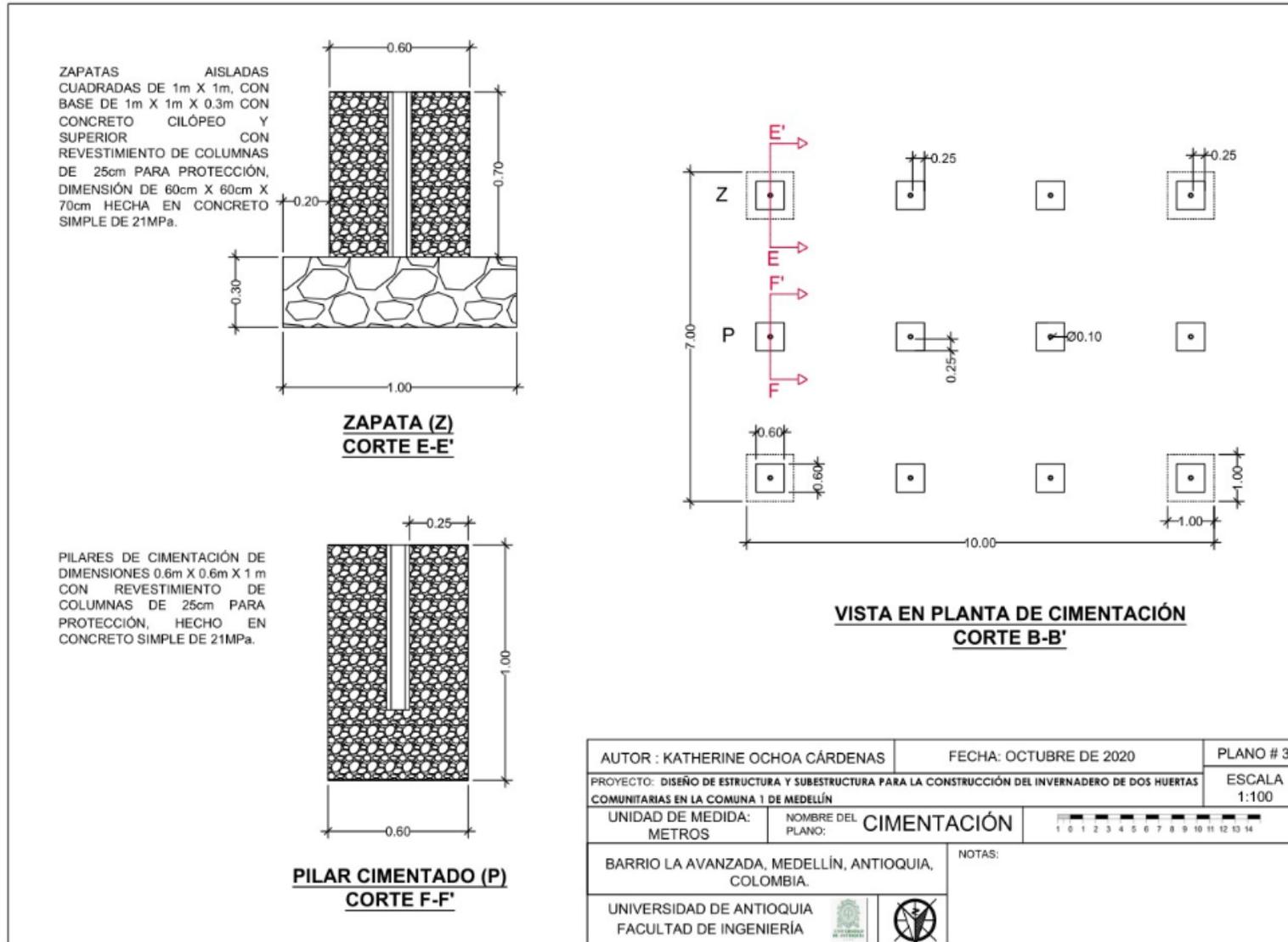


Imagen 33. Plano #2 Cimentación, Barrio La Avanzada.

En la imagen 34 (plano #1, Vistas Barrio Granizal), ídem al análisis del plano #1, Vistas barrio la avanzada, exceptuando que el ancho de la estructura es de 3.1 m.

En la imagen 35 (plano #2, Planta Barrio Granizal) se muestra la vista en planta o el corte A-A' ilustrados en la imagen 34 y 1 corte (C-C') realizados a la vista en planta del invernadero, en donde se observa que la estructura se divide en 2 para delimitar el espacio de compostaje con el espacio de siembra de semillas, la zona de compostaje se encuentra justo al ingresar, el espacio destinado para este tiene un área aproximada de  $5.03 \text{ m}^2$ , está delimitada y protegida por una capa de concreto a sus alrededores de 5 cm de espesor y altura de 30 cm a un costado y al otro de aproximadamente 50 cm por la pendiente, (lo mismo sucede con la base de las estanterías); y el espacio de siembra de semillas tiene un ingreso por la puerta interior y consta de 4 estanterías de semillas de 88 cm de ancho, 2.9 m de largo y 2.1 cm de altura los cuales estarán divididos en 3 estantes con espacio de 90 cm entre sí, suficiente para el óptimo crecimiento de las semillas, y el distanciamiento entre las bases de apoyo de dicha estantería es de 1.38 m, y un espesor de 5 cm, acomodar las estanterías de esta manera proporcionara un espacio para transitar suficientemente amplio y cómodo de 1 m y permite no interferir con la estructura puesto que todas las estanterías se encuentran a 5 cm de las columnas y a 15 del plástico o poli sombra. El material de construcción queda a elección del propietario, puede ser de concreto simple o madera siendo la primera opción más duradera y resistente.

En la imagen 36 (plano #3, Cimentación Barrio Granizal) se puede observar la cimentación de la estructura de invernadero, en donde se observa que la única diferencia con el plano de cimentación de la huerta del barrio la avanzada es que dicha estructura consta de 8 columnas de guadua estructural, ídem análisis imagen 33 (Plano #3, Cimentación Barrio La Avanzada).

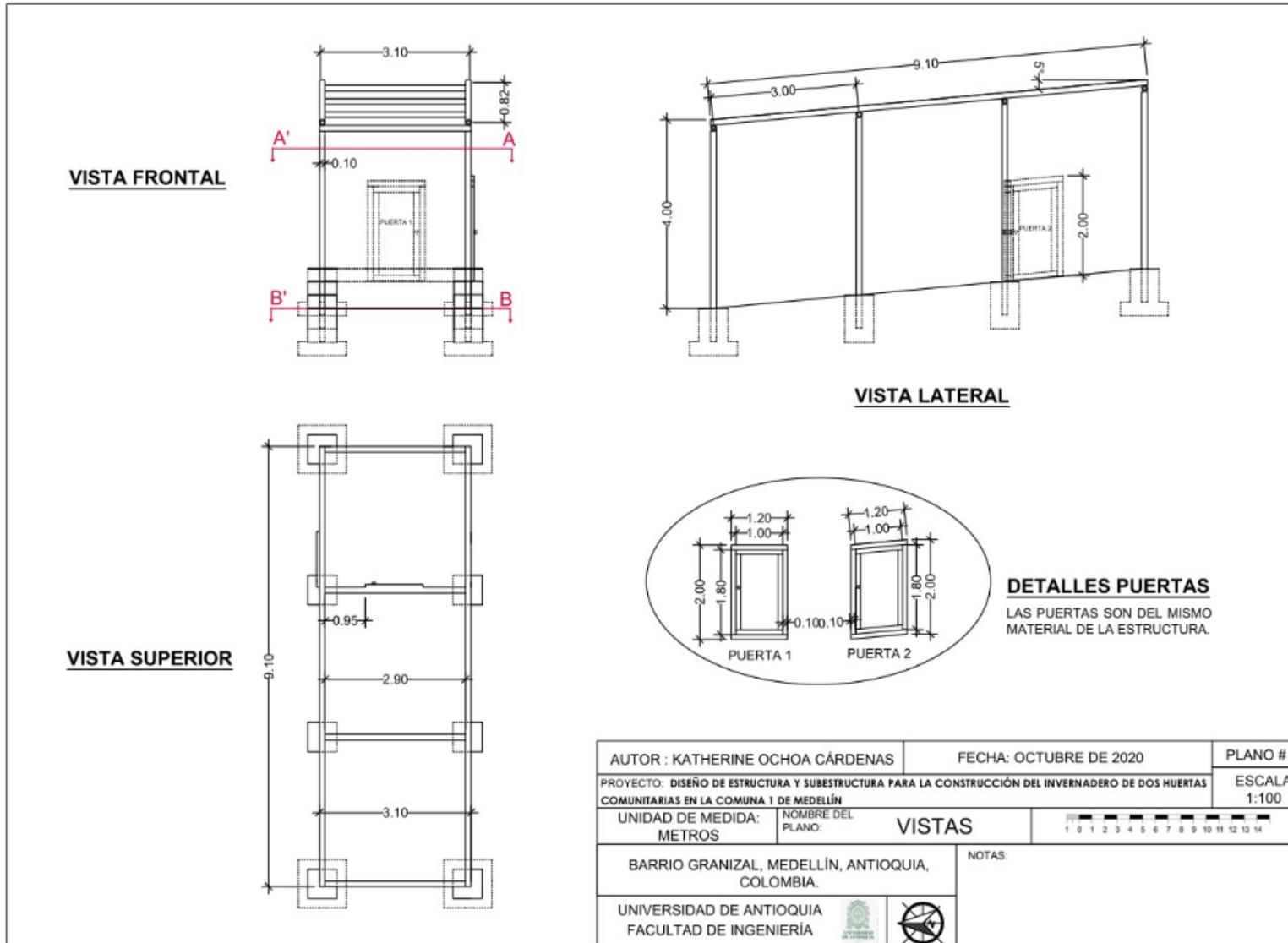


Imagen 34. Plano #1 Vistas, Barrio Granizal.

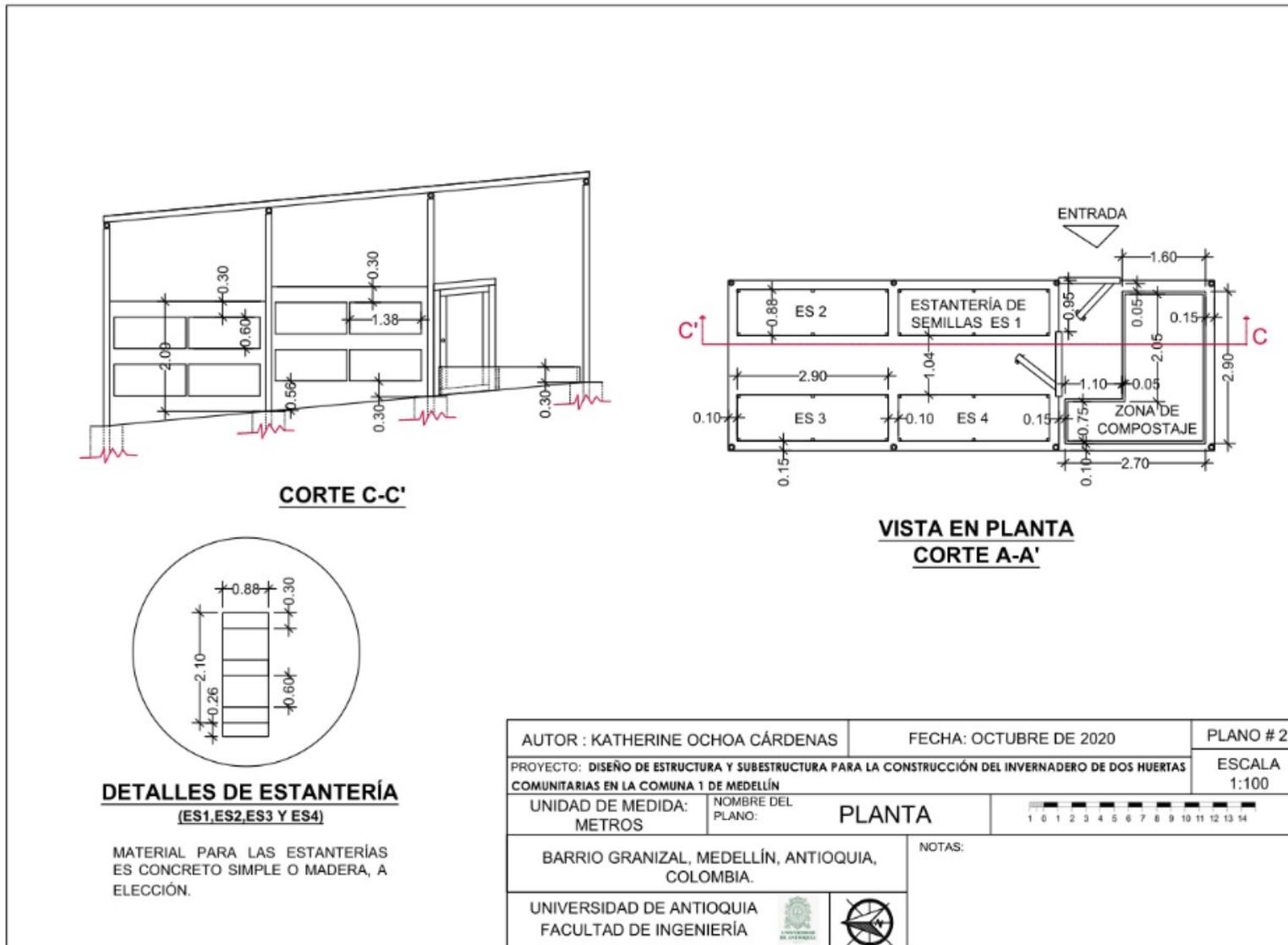


Imagen 35. Plano #2 Planta, Barrio Granizal.



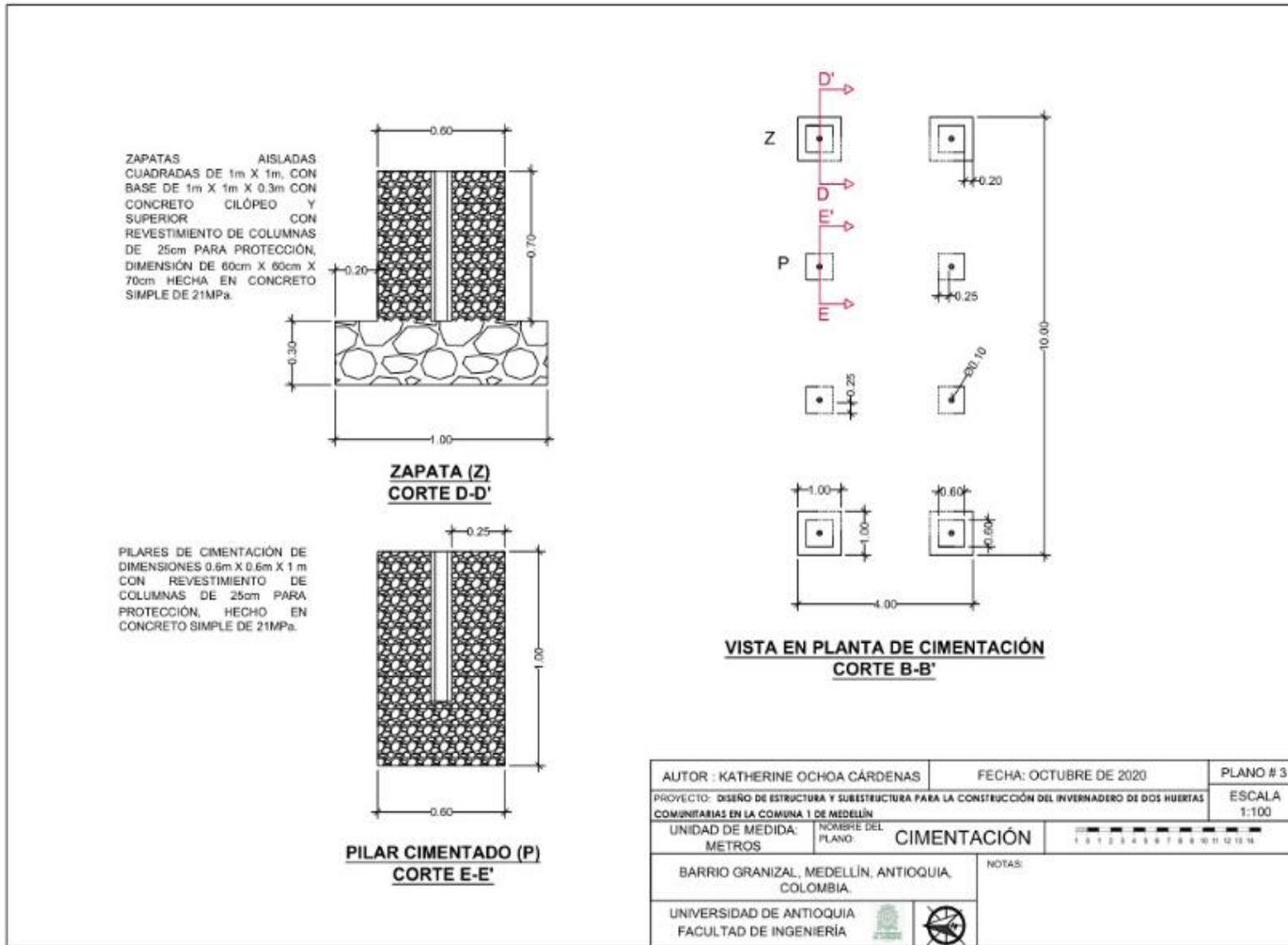


Imagen 36. Plano#3 Cimentación, Barrio Granizal.



## 6. Evaluación y cálculo general de cargas (cargas vivas y cargas muertas) en las propuestas preliminares.

Para el presente proyecto cabe aclarar que no es necesaria la modelación por tratarse de una estructura liviana que es utilizada como protección de cultivo; al inicio del proyecto, aunque no fuera una exigencia, se pretendía realizar una modelación tanto del terreno en Geo5 como de la estructura en SAP 2000, pero teniendo en cuenta la situación con la contingencia, no se tienen los datos necesarios o primarios para dichas modelaciones, como un perfil de suelo definido por una toma de muestras o un modelo digital del terreno desde el programa ArcGIS; además de tener en cuenta que para la modelación en SAP 2000 se precisan cargas considerables aplicadas a la estructura.

Basados en la norma sismorresistente Colombiana NSR-10, donde tienen como limitante 800 kN para carga máxima de servicio de estructuras categoría baja de hasta 3 niveles, buscamos fiabilidad tomando una carga para nuestra estructura de 100 kN a sabiendas que aun así es una carga superior a la requerida para el uso del invernadero.

Con la carga de 100 kN y el factor de seguridad de 3, se garantiza el soporte de cualquier excedente que sea generado por cargas de viento, cargas vivas (personas) y cargas muertas (estanterías para plantación de semillas, compostaje, materiales y demás).

*Tabla 15. Clasificación de las unidades de construcción por categorías del título h (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).*

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4001 y 8000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8000 kN

*Tabla 16. Factor de seguridad (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).*

Condición	FS
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3

## 7. Presentación final de los diseños de la estructura y subestructura de los dos invernaderos.

Para la presentación final se realizó una breve reunión con la señora Cecilia (dueña de la huerta ubicada en el barrio La Avanzada) se le expusieron las dimensiones antes mencionadas; la ubicación propuesta en la parte inferior del terreno y todas las propuestas. En el marco de la reunión, la señora Cecilia manifestó la preferencia por un diseño con polisombra y no con botellas de plástico perforadas cocidas, sin embargo esto no interfiere en los diseños presentados.

Quedan pendientes dos reuniones virtuales, una con la señora Gloria (dueña de la huerta ubicada en el barrio Granizal) y otra con ambas dueñas de las huertas para la presentación completa del presente proyecto.

#### **8. Documentación del proceso y el diseño obtenido.**

Se pretende realizar después de llevar a cabo las reuniones mencionadas en el punto anterior (punto 7 de Resultado y Análisis) el envío por medio de correo electrónico del presente proyecto ya culminado a la señora Cecilia y señora Gloria (dueña y encargada de las huertas) para una futura implementación, adjuntando la hoja de Excel en la cual se realizó el cálculo de la capacidad de carga (última y admisible) y asentamiento elástico para ambas huertas; además los planos detallados en el programa AutoCAD de cada huerta.

Esto será de utilidad en la ejecución futura de los proyectos de construcción de las huertas que las dueñas planean llevar a cabo.



## Conclusiones

Luego de la realización de este proyecto fue posible concluir:

- En la huerta del barrio Granizal se precisa un invernadero pequeño adicional al ya existente puesto que este será utilizado como salón, con estructura y subestructura liviana por encontrarse en un terreno con antecedentes de basurero y por el poco espacio disponible con pendiente baja. Las dimensiones de dicho invernadero deben ser de 9.1m x 3.1m y una altura de 4m.
- En la huerta del barrio La Avanzada se recomienda el traslado de la estructura de invernadero a la parte inferior del terreno, por cuestiones sanitarias y de aprovechamiento de espacio, dicho invernadero debe tener una estructura y subestructura livianas por tratarse de un suelo arenoso con pendientes considerables. Las dimensiones de dicho invernadero deben ser de 9.1m x 6.1m y altura de 4m.
- Se recomienda que los invernaderos a construir sean tipo capilla y en material de guadua estructural para sus elementos principales, cada uno de 10cm de diámetro, con separación entre columnas de 3m medidas desde su centro; además que en lugar de poli sombra se cubra con botellas de plástico perforadas cocidas entre sí en especie de empalme tipo pared.
- Se obtuvieron datos geotécnicos para el diseño a través de la consulta de información secundaria, analizando las condiciones del suelo del cerro de Moravia, dado su similitud con las condiciones del terreno encontrado para este proyecto. La clasificación de éste es una Arena limosa con porcentaje de materia orgánica y tiene unas propiedades geotécnicas de  $\Phi=30^\circ$ ,  $c'=5 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma_h=16 \text{ kN/m}^3$ ,  $E=15000 \text{ kN/m}^2$ ,  $\mu=0.3$ .
- La carga máxima de servicio de las columnas es de 100kN y el factor de seguridad considerado es de 3.
- La cimentación de dichas estructuras, constarán de zapatas aisladas cuadradas de 1m x 1m de base, 1 m de profundidad de desplante, elaboradas en concreto ciclópeo para la base inferior, con 0.3m de espesor y la parte restante de la cimentación será de 0.6m x 0.6m con altura de 0.7m en concreto simple. La capacidad de carga con dicha cimentación es:  $q_{\text{último}}=1045.8 \text{ kN/m}^2$ ,  $q_{\text{admisible}}=348.6(\text{kN/m}^2)$  y el asentamiento total por tratarse de una arena limosa será el elástico que es 1.39cm, este valor puede confirmar que se está cumpliendo con lo establecido por la norma NSR-10, aun cuando para el tipo de estructura en cuestión no es obligatorio.
- Las zapatas se ubicarán en las columnas de los extremos y el resto de columnas constarán de pilares cimentados en concreto simple de 0.6m x 0.6m x 1m, con un recubrimiento de columnas de 25 cm para protección de desgaste por filtración de aguas.
- El invernadero consta de 2 espacios, uno para la zona de compostaje y el otro para siembra de semillas con una distribución vertical, posible por la implementación de estanterías; se recomienda que el material de construcción para el cajón de compostaje y las estanterías sea de concreto para mayor duración y estabilidad.

## Referencias Bibliográficas

- Agudelo Zapata José Antonio, (2015), piloedre, un nuevo tipo de cimentación para estructuras ligeras, <http://estructurando.net/2015/07/20/piloedre-un-nuevo-tipo-de-cimentacion-para-estructuras-ligeras/>
- Alcaldía de Medellín, (2018), huertas con vos, una fuente de alimentos para más de 1000 familias, <https://www.medellincuenta.com/?NavigationTarget=navurl://18562ed0f994cafa042c865a6f3b9380>
- Alcaldía de Medellín- planeación municipal, sin fecha, Plan parcial de mejoramiento integral del barrio Moravia, [https://feriadelasfloresmedellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/PlaneacionMunicipal/Programas/Shared%20Content/Documentos/2018/Planes%20Parciales/Moravia%20Pol%C3%ADgono%20Z1\\_MI\\_4/DTS\\_TOMO\\_I\\_DIAGNOSTICO.pdf](https://feriadelasfloresmedellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/PlaneacionMunicipal/Programas/Shared%20Content/Documentos/2018/Planes%20Parciales/Moravia%20Pol%C3%ADgono%20Z1_MI_4/DTS_TOMO_I_DIAGNOSTICO.pdf)
- Bowles. Joseph E. Propiedades geofísicas de los suelos. Bogotá: Mc GRAW-HILL LATINOAMERICA, S.A., 1982. 502 páginas. ISBN: 968-451-118-3
- BuildSoft, structurally loved by engineers <https://www.buildsoft.eu/es/product/diamonds>
- Das. Braja M. Principios de ingeniería de cimentaciones. Edición 4. México: internacional Thomson editores, 2001, 880 páginas. ISBN:970-686-035-5
- Erohovastitch, (2020), ¿Cuál es la mejor base para un invernadero? Fundación de invernadero: ¿cuándo se necesita realmente? El dispositivo de la parte de ladrillo de la base, <https://erohovastitch.ru/es/poterya-kormilca/kakoi-fundament-luchshe-pod-parnik-fundament-dlya-teplicy-kogda-on-deistvitelno.html>
- Fernández Casadevante, J.L. (2011), Huertos comunitarios <https://www.ecologistasenaccion.org/19648/huertos-comunitarios/>
- Gassó y Solomando, 2011, Estructura e instalaciones de un invernadero, <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11369/Mem%C3%B2ria.pdf>
- Gobernación de Antioquia, (2016), Medio ambiente, <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/2-2-4-precipitacion-promedio-anual-por-subregiones-y-municipios-ano-2016>

Google Maps, (2020), Aplicación para encontrar direcciones y visualizar la zona, <https://www.google.com/maps/place/Casa+de+la+justicia+santo+domingo./@6.2895744,-75.5533287,3482m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e442f4c51ed3847:0xae50b8e7049cfba!8m2!3d6.2921967!4d-75.5426423>

Infoagro, cultivos y sectores, <https://www.infoagro.com/>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), (1997), NTC 2500, Ingeniería civil y arquitectura uso de la madera en la construcción, <https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2607/pdfview/viewer.aspx?locale=es-MX&Q=9EF02510A4B6F5515074E0AF64E6A05E2B1DA961E0A07526&Req=>

Instituto nacional de vías (INVIAS), (2012), Normas y especificaciones, Sección 100, <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2004), circular externa, [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/circulares/2004/circ\\_3000-2-35743\\_210504.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/circulares/2004/circ_3000-2-35743_210504.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010), Norma Colombiana de construcción sismo resistente título G, Estructuras de madera y estructuras de guadua, <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/7titulo-g-nsr-100.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010), Norma Colombiana de construcción sismo resistente título H, Estudios geotécnicos, <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/8titulo-h-nsr-100.pdf>

Montoya y Pinto, (2010), Cimentaciones, <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/cimentaciones-y-fundaciones.pdf>

Muñoz, L. (2019), 7 Tipos de Huertos Urbanos, sus objetivos y beneficios, <https://www.agrohuerto.com/7-tipos-de-huertos-urbanos/>

Muñoz, L. (2019), 5 Tipos de Huertos: ¿Cuál se adapta más a tus necesidades?, <https://www.agrohuerto.com/5-clasificaciones-de-huertos/>

Pacheco-Rivas Igma, (2017), Tipos de cimentación para una casa. Definición, ejemplos y características, <https://about-haus.com/tipos-de-cimentacion/>

Rodríguez Ortiz. JM., Serna Gesta. J., Oteo Mazo. C. Curso aplicado de cimentaciones. Edición 2. Madrid: Colegio oficial de arquitectos de Madrid (COAM), 1984. 266 páginas. ISBN: 84-85572-37-8

Sánchez Pinzón, M.S. (2010), Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducida, <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/837>

Santizo Velázquez, H. L. (2011), Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas, <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5625/T18620%20SANTIZO%20VELAZQUEZ,%20HOREL%20LUCIO%20%20MONOG.pdf?sequence=1>

Seedbox, (2015), ¿Cuáles son los tipos de cultivos que existen?, [https://seedboxhuertosurbanos.es/cuales-son-los-tipos-de-cultivos-que-existen/#Cuales\\_son\\_los\\_tipos\\_de\\_cultivos\\_que\\_existen](https://seedboxhuertosurbanos.es/cuales-son-los-tipos-de-cultivos-que-existen/#Cuales_son_los_tipos_de_cultivos_que_existen)

Sistema de Alerta Temprana de Medellín y del Valle de Aburrá (SIATA), 2020, [https://siata.gov.co/siata\\_nuevo/](https://siata.gov.co/siata_nuevo/)

Structuralia, (2019), 5 software utilizados para el diseño y cálculo de estructuras en edificación y obra civil, <https://blog.structuralia.com/5-software-utilizados-para-el-diseno-y-calculo-de-estructuras-en-edificacion-y-obra-civil>

Zuloaga. I, (2018), GEO5, <https://www.geotecnia.online/geo5-descargar-e-instalar-software-para-analisis-geotecnico/>

## **Anexos**

Se anexa hoja de cálculo de Excel con resultados de capacidad de carga y asentamiento elástico y 2 planos en AutoCAD, uno para el barrio Granizal y otro para el barrio La Avanzada, con todos los detalles de la estructura y subestructura.