



SISTEMAS HIDROPÓNICOS ADECUADOS PARA LA PRODUCCIÓN URBANA DE
ALIMENTOS EN ÁREAS MARGINALES DE CALI

ANGIE VANESSA CABAL PÉREZ - 1324265
ALEXANDRA HERRERA ALZATE - 1329764

UNIVERSIDAD DEL VALLE – SEDE CALI
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI
2020



SISTEMAS HIDROPÓNICOS ADECUADOS PARA LA PRODUCCIÓN URBANA DE
ALIMENTOS EN ÁREAS MARGINALES DE CALI

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA DE
ALIMENTOS

ANGIE VANESSA CABAL PÉREZ - 1324265
ALEXANDRA HERRERA ALZATE - 1329764

DIRECTORA
DIANA CAROLINA VANEGAS GAMBOA, PhD

Grupo Interdisciplinario de Innovación Biotecnológica y Transformación Ecosocial
(BioNovo)
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Desarrollo y aplicación de alternativas tecnológicas en
salud y alimentación dirigidas al mejoramiento de calidad de vida de poblaciones
vulnerables.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI
2020

Nota de aceptación:

Firma del director de programa

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

*Aunque no pudieron verme finalizando esta etapa de mi vida,
fueron parte de todo el proceso, por eso,
gracias abuelos por el apoyo incondicional.*
-Angie V. Cabal

*Gracias, mamá y papá por su incondicional apoyo.
Este gran paso es por ellos y para ellos, siempre.*
-Alexandra Herrera Alzate

CONTENIDO

1.	RESUMEN	12
2.	ABSTRACT	13
3.	INTRODUCCIÓN	14
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
5.	JUSTIFICACIÓN.....	18
6.	MARCO REFERENCIAL.....	21
6.1.	1. MARCO CONTEXTUAL	21
6.1.1.	Agricultura urbana.....	21
6.1.2.	Fundación Nacederos.....	25
6.1.2.1.	➤ Huertas pal' Barrio.....	26
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	27
6.2.1.	Seguridad alimentaria	27
6.2.2.	Cultivos en viveros.....	27
6.2.3.	Vermicompost como fuente de nutrientes para la producción urbana de plantas 28	
6.2.4.	Aspectos básicos de la hidroponía.....	30
6.2.5.	Sustrato hidropónico	31
6.2.6.	Solución nutritiva.....	32
7.	OBJETIVOS.....	33
7.1.	Objetivo General	33
7.2.	Objetivos Específicos	33
8.	METODOLOGÍA	34
8.1.	Construcción de los sistemas de cultivo de inundación y drenaje y de película nutritiva, en formatos adaptables a las condiciones de espacio disponible para agricultura comunitaria en el Distrito de Aguablanca.....	34
8.1.1.	Reconocimiento de la zona y elección del sitio de construcción del vivero.....	34
8.1.2.	Diseño y construcción del vivero	35
8.1.3.	Diseño y construcción de los sistemas hidropónicos.....	36
8.1.3.1.	Construcción del soporte para los Sistemas NFT	36
8.1.3.2.	Construcción del soporte para los Sistemas de Inundación y Drenaje	37
8.1.4.	Pruebas de resistencia y calidad de los sistemas hidropónicos.....	38

8.2. Obtención de una solución nutritiva de bajo costo para el desarrollo de cultivos en sistemas hidropónicos.....	38
8.2.1. Obtención de lixiviado de vermicompost	38
8.3. Seguimiento in-situ y evaluación de la operación de los sistemas construidos durante un ciclo de cosecha de una planta modelo.....	39
8.3.1. Elección de sustrato hidropónico	39
8.3.2. Siembra y germinación de semillas orgánicas	40
8.3.3. Estrategias alternativas.....	40
8.3.4. Caracterización del funcionamiento de los sistemas de cultivo	40
8.3.5. Métodos de evaluación del crecimiento de las plantas.....	41
8.4. Introducción del concepto de hidroponía en la comunidad del barrio Puertas del Sol del Distrito de Aguablanca, y evaluación de posibilidad de adaptación a esta tecnología en el sector.	43
8.4.1. Introducción de la tecnología a la comunidad	43
8.4.2. Capacitación e interacción de los sistemas hidropónicos y la comunidad	43
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
9.1. Construcción de sistemas hidropónicos con materiales de bajo costo	45
9.1.1. Elección de la zona de construcción del vivero	45
9.1.2. Diseño y construcción del vivero	46
• Iluminación	46
• Ventilación.....	47
• Protección contra la intrusión de animales terrestres.....	47
• Firmeza y resistencia.....	47
• Fuente de agua	47
• Fuente de energía	47
9.1.3. Diseño y construcción de los sistemas hidropónicos.....	48
9.1.4 Sistema de Inundación y drenaje.....	50
9.1.5. Sistema NFT.....	52
9.2. Solución nutritiva de bajo costo para el desarrollo de cultivos en sistemas hidropónicos	54
9.2.1. Solución Nutritiva	54
9.3. Monitoreo y evaluación de los sistemas hidropónicos	62
9.4. Educación para la apropiación de tecnologías de agricultura urbana.....	71
10. CONCLUSIONES	73

11. RECOMENDACIONES	74
12. AGRADECIMIENTOS	75
13. BIBLIOGRAFÍA	76
14. ANEXOS	81

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Logotipo de la Fundación Nacederos de Cali.	26
Figura 2. Distintos tipos de sistemas hidropónicos. (a) sistema de mecha absorbente, (b) sistema de goteado, (c) sistema de inundación y drenaje (d) sistema de inmersión profunda, (e) sistema de película nutritiva (NFT) y (f) sistema aeropónico. Fuente: Lee & Lee (2015). ...	30
Figura 3. Mapa de división de la comuna 14 de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. La región de color morado fue el lugar del proyecto. Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2004).	35
Figura 4. Esquema general de los soportes de (a) los sistemas NFT y (b) los sistemas de Inundación y Drenaje. Fuente: (Rosero, 2019).....	37
Figura 5. Estructura de la obtención del lixiviado de Lombriz Californiana.	39
Figura 6. (a) Fotografía de los sensores en el tanque y el sistema de medición de consumo de solución nutritiva y (b) sistema de almacenamiento de datos en la parte externa del tanque.	41
Figura 7. Clasificación visual de las hojas de la planta (a) y (b) buen estado, con buena coloración y sin daños, (c) y (d) enfermedad latente, pero se puede recuperar, (e) pudrición de tallo y hojas, muerte por exceso de agua y (f) deshidratación extrema, muerte por exceso de luz directa.....	42
Figura 8. Plano La Huerta el Edén del barrio Puertas del Sol I en el Distrito de Aguablanca. El recuadro externo representa la cerca en malla metálica que encierra la huerta. La huerta limita con una cancha de futbol, dos terrenos valdíos, y una calle pavimentada.	46
Figura 9. Plano del vivero con la distribución interna de los sistemas hidropónicos.	48
Figura 10. Planos de la estructura, las vigas de soporte y el canal de cultivo para el sistema de Inundación y Drenaje. Fuente: (Rosero, 2019).....	49
Figura 11. Planos del sistema NFT con las vigas de soporte (diagonales). Fuente: (Rosero, 2019).....	49
Figura 12. Estructura del sistema Inundación y drenaje (tipo cama) con las conexiones y canales de 1 m de longitud.	51
Figura 13. Planos en 3D del sistema de Inundación y drenaje.	52
Figura 14. Estructura del sistema NFT y la estructura del sistema NFT con las conexiones y canales de 1 m de longitud.	53
Figura 15. Planos en 3D del sistema NFT. Fuente: (Rosero, 2019)	53
Figura 16. La fotografía (a) son las Lombrices Californianas alimentándose de residuos orgánicos. La fotografía (b) es el sistema diseñado para la obtención del lixiviado de lombriz.	55
Figura 17. Medición de conductividad eléctrica.....	56
Figura 18. Seguimiento de la longitud de la planta en 28 días de prueba con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.....	59
Figura 19. Seguimiento de la longitud de la raíz en 28 días de prueba con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.....	59
Figura 20. Pruebas de crecimiento y aprovechamiento del lixiviado de lombriz en diferentes concentraciones de Lechuga Romana.	60
Figura 21. Seguimiento del crecimiento de la lechuga romana con la solución nutritiva a base de lixiviado de lombriz del 25%.	60

Figura 22. Germinación directa en los sistemas hidropónicos en el Distrito de Aguablanca. (a) germinación de la Lechuga Romana, (b) exceso de agua en la semilla (sin germinación), (c) germinación de Espinaca y (d) espuma agrícola son contacto con el agua (sin germinación).	63
Figura 23. Germinación en semilleros y en recipientes reciclados en el Distrito de Aguablanca.	63
Figura 24. (a) Primeros cultivos de Lechuga Romana en el sistema de I&D, (b) cultivos de Lechuga Romana en el sistema NFT.	64
Figura 25. Daños presentes en las plántulas trasplantadas. (a) hojas con quemaduras seberas y (b) pudrición de la raíz por exceso de agua.	65
Figura 26. Problemas y enfermedades que presentaron las plantas. (a) déficits de nutrientes y daños en las hojas de la planta, (b) descomposición de las raíces y (c) muerte de la espinaca por exceso de agua.	65
Figura 27. Presencia de hongo Rhizoctonia solani en Apio, (a) Inicio de la descomposición, (b) Descomposición parcial y (c) Descomposición completa.	66
Figura 28. Crecimiento de la Lechuga Romana producida en el sistema NFT en un lapso de 18 días.	67
Figura 29. Crecimiento del Apio producido en el sistema NFT en un lapso de 18 días.	67
Figura 30. Lechuga Romana luego de 45 días de la propagación por tallo.	70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Participación en agricultura urbana. Fuente: Zezza & Tasciotti (2010).	15
Tabla 2. Sistemas utilizados en la agricultura urbana. Fuente: Zaar (2011).	22
Tabla 3. <i>Proporción de ingresos generados en el hogar. Fuente: Zezza & Tasciotti (2010).</i> ..	25
Tabla 4. <i>Composición del humus de Lombriz Californiana. Fuente: (Escobar, 2013)</i>	29
Tabla 5. Evaluación de las posibles opciones para la construcción del vivero.....	45
Tabla 6. Residuos orgánicos destinados para la alimentación de las Lombrices Californianas. Fuente: (Rojas & Flórez, 2018).	55
Tabla 7. Resultado de micro y macro nutrientes del lixiviado de lombriz.	56
Tabla 8. Rangos Comunes de Nutrientes en la Solución Hidropónica. Fuente: (Sela, 2020)..	57
Tabla 9. Composición de la solución FERT PLANT.	61
Tabla 10. Análisis químico de la dilución fresca de FERT PLANT.....	61
Tabla 11. Resultado de los datos tomados de la solución nutritiva del tanque de almacenamiento de la Lechuga Romana.	68
Tabla 12. Resultado de los datos tomados de la solución nutritiva del tanque de almacenamiento del Apio.	68
Tabla 13. Análisis químico y comparación del consumo de nutrientes de la solución nutritiva después de 18 días del sistema NFT de Lechuga Romana.	69
Tabla 14. Análisis químico y comparación del consumo de nutrientes de la solución nutritiva después de 18 días del sistema NFT de Apio.	70

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia fotográfica de la construcción del vivero en La Huerta El Edén, en el barrio Puertas del Sol I.....	81
Anexo 2. Registro fotográfico de las (a) adecuaciones del espacio destinado a la construcción del vivero, (b) esterilización de las guaduas, (c) inclinación del techo e (d) instalación de estivas en las paredes del vivero.....	82
Anexo 3. Lista de materiales implementados en la construcción para cada sistema hidropónico.....	83
Anexo 4. Construcción de los sistemas hidropónicos en el Taller de Mecánica de la Universidad del Valle.....	84
Anexo 5. Sistema de inundación y drenaje (I&D).....	84
Anexo 6. Sistemas de inundación y drenaje completo, con los tanques superiores e inferiores.....	85
Anexo 7. Sistema de película nutritiva (NFT).....	85
Anexo 8. Registro de datos de crecimiento de las plantas de Lechuga Romana con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.....	86
Anexo 9. Registro del crecimiento de los cultivos de Lechuga Romana en el sistema NFT.....	87
Anexo 10. Registro del crecimiento de los cultivos de Apio en el sistema NFT.....	87
Anexo 11. CRONOLOGÍA DEL PROYECTO.....	88

1. RESUMEN

En el municipio de Santiago de Cali, el 41% de la población habita en conglomerados marginales de la ciudad. Más del 40% de estos pobladores pertenecen a minorías étnico-raciales (indígenas y afrocolombianos). También se observa un alto porcentaje de monoparentalidad en estos hogares, lo cual refleja la grave situación de vulnerabilidad socioeconómica e inseguridad alimentaria. La agricultura urbana es una estrategia previamente implementada en distintos países en vía de desarrollo como mecanismo de reducción de los problemas asociados a la pobreza al interior de los centros urbanos. En Colombia, y particularmente en la ciudad de Cali es posible también plantear estrategias similares que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida en los hogares de los sectores marginales. El propósito del proyecto fue explorar la implementación de sistemas hidropónicos como alternativa potencial para la producción de alimentos en las residencias o sitios comunales de los conglomerados pobres de la ciudad. Los alimentos producidos con estos sistemas podrían ser utilizados para el autoconsumo de las familias, o para la generación de recursos económicos. Como prueba de concepto, fueron diseñados y construidos 2 sistemas NFT y 2 sistemas de inundación y drenaje a partir de materiales de bajo costo como tuberías de PVC. Estos sistemas fueron ubicados en el huerto comunitario "El Edén", el cual se localiza en la comuna 14 del Distrito de Aguablanca. El trabajo se desarrolló en colaboración con la Fundación Nacederos, que opera en el distrito de Aguablanca. El proyecto fue desarrollado con base en la articulación de componentes técnicos y educativos que buscaban solidificar la intersección entre los aspectos ingenieriles y sociales en un contexto de pobreza urbana. Dentro del componente técnico, se evaluaron parámetros de operación de los sistemas como pH, temperatura, conductividad eléctrica, consumo energético y consumo de agua, usando lechuga (*Lactuca sativa*) como cultivo modelo y lixiviado de vermicompost como fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas. En el componente educativo, se realizaron dos talleres con grupos focales incluyendo madres cabeza de familia y grupos de la tercera edad, los cuales tienen un interés particular en actividades agrícolas y comunitarias. Los talleres abordaron temas de seguridad alimentaria, hidroponía y alimentación saludable. Los resultados de este proyecto piloto contribuyen al entendimiento de las complejidades sociales y los desafíos técnicos que se deben abordar en futuras investigaciones para mejorar la factibilidad de la inclusión de sistemas hidropónicos en las zonas marginales de la ciudad de Cali como mecanismo de mitigación de los problemas de pobreza e inseguridad alimentaria.

Palabras clave: *Agricultura urbana; cultivos hidropónicos; hidroponía, producción de alimentos, seguridad alimentaria; solución nutritiva.*

2. ABSTRACT

The municipality of Santiago the Cali, 41% of the population lives in marginal areas of the city. More than 40% of the low-income population belong to ethnic minority groups (indigenous and Afrodescendants). In addition, there is a significant occurrence of single-parent households, which is indicative of a vexing situation of socioeconomic vulnerability and food insecurity. Urban agriculture has been previously demonstrated in developing countries as a strategy to mitigate problems associated with poverty and food insecurity in urban conglomerates. In Colombia, and particularly in the City of Cali, it is possible to elucidate similar strategies aimed at contributing to the improvement of the living conditions of marginalized communities. The purpose of this project was to explore the implementation of hydroponic systems as an alternative for the production of food crops in houses or communal spaces of low-income urban communities. These crops could be used for self-consumption or low-scale commercialization. As proof of concept, 2 nutrient film technique (NFT) and 2 ebb and flow (E&F) hydroponic units were designed and built using low-cost materials such as polyvinyl chloride (PVC) pipes, and plastic tanks. The hydroponic systems were placed at the "El Eden" community garden, which is located in the neighborhood of Puertas del Sol of the Aguablanca District. The fieldwork was conducted in collaboration with Fundación Nacederos, a non-profit organization that operates in the Aguablanca District. The project was developed based on the articulation of technical and educational components that sought to solidify an intersection between engineering and social aspects within a context of urban poverty. As part of the technical component, operational aspects of the hydroponic systems were evaluated including, pH, temperature, electrical conductivity (EC), energy, and water consumption, using lettuce (*Lactuca sativa*) as a model crop, and vermicompost leachate as the source of nutrients for plant growth. As part of the educational component, two focus group workshops were conducted with household head women and elderly, whom show particular interest in farming activities and community initiatives. These workshops addressed topics including hydroponic cultivation, food security and sovereignty, and healthy diets. Results from this pilot project enable an enhanced understanding of the social complexities and engineering challenges that should be addressed in future research aimed at improving the feasibility of implementing hydroponic systems in marginal areas of the City of Cali as a suitable mechanism for mitigating poverty and food insecurity.

Keywords: Urban agriculture; hydroponic crops; hydroponics, food production, food security; nutritive solution

3. INTRODUCCIÓN

Existe un número considerable de pobladores de la ciudad de Cali que habitan en conglomerados marginales correspondiente a 943.000 personas, lo que equivale al 41% de la población. Más del 40% de estos pobladores pertenecen a minorías étnico-raciales (indígenas y afrocolombianos); asimismo, un alto porcentaje de monoparentalidad en estos hogares es sobresaliente, lo que refleja la difícil situación de vulnerabilidad socioeconómica e inseguridad alimentaria de una considerable población caleña (Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali, 2011).

En los últimos años, la agricultura urbana se ha convertido en una estrategia de crecimiento socioeconómico para distintos países en vía de desarrollo. En el sur global, la agricultura urbana se configura como mecanismo de reducción de los problemas asociados a la pobreza al interior de los centros urbanos, ya que permite el involucramiento de personas que tienen dificultad para acceder a otro tipo de actividades laborales (e.g., personas con bajo nivel de escolaridad, mujeres, adultos mayores, etc). De acuerdo con Diehl et al. (2019), se estima que entre el 25% y el 30% de la población urbana en países en vía de desarrollo participa en actividades de agricultura por la demanda de un mayor suministro de alimentos. Específicamente, los valores de la Tabla 1 definen que la población de los países latinoamericanos tiene 34% de participación en la agricultura urbana, por lo que este método es un alivio económico para los pobladores de las zonas vulnerables (Zezza & Tasciotti, 2010).

Asimismo, en Colombia y particularmente en la ciudad de Cali, se confirma que también es posible plantear estrategias paralelas que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida en los hogares de los sectores marginales. Además de reducir considerablemente la inseguridad alimentaria de la población vulnerable.

Los sistemas de cultivo sin suelo son una alternativa sostenible para la producción de alimentos, aprovechamiento del espacio y optimización de los recursos naturales. Los cultivos hidropónicos son sistemas de cultivo que no necesitan de tierra y permiten inutilizar de productos agroquímicos como fertilizantes y pesticidas sintéticos. Para la producción de cultivos en sistemas hidropónicos se deben considerar los requerimientos básicos para el desarrollo adecuado de las plantas, incluyendo acceso suficiente a agua, luz, nutrientes esenciales (macro y micro), e intercambio de gases en las raíces.

Tabla 1. Participación en agricultura urbana. Fuente: Zezza & Tasciotti (2010).

País y Año	% total de participación en cosecha	% total de participación en actividades de ganadería	% total de participación en actividades agrícolas urbanas	% total de participación en actividades agrícolas rurales
Madagascar, 2001	30	13	33	85
Malawi 2004	45	14	46	97
Indonesia, 2000	10	3	11	64
Nepal, 2003	52	36	57	98
Albania, 2005	18	10	19	95
Bulgaria, 2001	23	13	27	78
Guatemala, 2000	35	21	42	93
Nicaragua, 2001	65	29	68	95
Panamá, 2003	31	12	34	87
Promedio	33	18	37	88
Máximo	65	36	68	98
Mínimo	10	3	11	64

Con base en los requerimientos específicos de los cultivos de interés, se puede diseñar, construir y caracterizar distintos sistemas hidropónicos adaptables a las condiciones de los sectores más vulnerables de la ciudad. Los alimentos producidos con estos sistemas pueden ser utilizados para el autoconsumo de las familias o para la generación de recursos económicos (Casierra y Céspedes, 2014).

El presente trabajo describe una iniciativa interinstitucional realizada mediante la cooperación entre la Universidad del Valle, la Universidad Santiago de Cali, y la Fundación Nacederos, con el fin de desarrollar alternativas tecnológicas sostenibles que contribuyan a la mitigación de la inseguridad alimentaria que enfrentan los sectores marginados de la población caleña. Con el desarrollo de este proyecto, se dió cumplimiento a uno de los objetivos misionales más importantes del programa de Ingeniería de Alimentos, que consiste en fomentar el sentido de pertenencia social del alumnado basándose en la educación recibida, garantizando la inocuidad y la eficiencia

de las operaciones de manufactura; orientadas a cuidar la salud humana, proteger al medio ambiente y mejorar las condiciones de los trabajadores y de sus familias (Universidad del Valle – Escuela de Ingeniería de Alimentos, s.f.).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el año 2014, en América Latina se estimó que casi 29.5 millones de personas padecían de hambre y aunque se han mostrados avances (Alexandratos & Bruinsma, 2012), estos no han sido suficientes ya que el 54% de la población mundial reside en zonas urbanas incrementando la demanda mundial de cultivos en un 110% (Organización de Naciones Unidas, 2014). En Colombia, el estado de desnutrición e inseguridad alimentaria de los colombianos corresponde al 54,2% según el Instituto Nacional de Salud (2019) en los resultados de análisis profundo de la Encuesta Nacional de Situación Nutricional de Colombia (ENSIN, 2015).

Asimismo, cifras del Departamento Nacional de Estadística (DANE, 2016), muestran que Cali es la ciudad que presenta los índices más altos de precios al consumidor en referencia a los alimentos de la canasta familiar, siendo las frutas frescas, hortalizas y legumbres frescas los que más aportan a la variación y contribución de los gastos. Esta situación es particularmente problemática para las personas que habitan en zonas marginales de la ciudad, quienes debido a limitaciones económicas ven cada vez más afectado su acceso a los alimentos.

Por otro lado, las estadísticas del Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali (2011), muestran que en los hogares más pobres de la ciudad (niveles 1 y 2 del SISBEN) la jefatura femenina es predominante, especialmente en los conglomerados afrodescendientes, lo cual refleja la necesidad de encontrar alternativas de actividades económicas ejecutables dentro o cerca del sitio de residencia para que de esta manera las madres cabeza de familia puedan generar ingresos al tiempo que cuidan sus hijos.

Los principales asentamientos de la población desplazada en Cali están localizados en el distrito de Aguablanca y los barrios de ladera (Siloé, Los Chorros, Las Minas, Las Cruces, Alto Nápoles, Meléndez y Terrón Colorado) (Peláez, et al., 2019). La mayoría de las casas en estos barrios recibe abastecimiento de agua y energía eléctrica de la empresa de servicios municipales EMCALI (Administración Central del Municipio de Santiago de Cali, 2015).

En el marco de la situación de pobreza e inseguridad alimentaria que sufre un sector considerable de la población en la ciudad de Cali, lo que se propone con este proyecto es investigar el uso de sistemas urbanos de producción de alimentos, específicamente sistemas hidropónicos, como estrategia para asistir en el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes en condición de alta vulnerabilidad sociodemográfica y socioeconómica.

5. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento urbano acelerado en los países en vía de desarrollo viene normalmente acompañado de un rápido crecimiento de los índices de pobreza e inseguridad alimentaria. Se estima que, para el final del 2020, al menos 85% de la población pobre de Latinoamérica esté concentrada en zonas urbanas (Cohen, 2006; Bishop, 2000). En países como Colombia, existe gran dificultad para afrontar los desafíos relacionados con la expansión rápida de las urbes, particularmente los pobladores de bajo nivel socioeconómico enfrentan problemas tales como la oferta insuficiente de empleos formales, problemas de contaminación medioambiental, acceso limitado a servicios básicos, confinamiento, inseguridad alimentaria, entre otras.

La distribución socioeconómica es una labor que está a cargo de la Subdirección de Planificación del Territorio de Colombia y en Cali, el encargado es el Departamento Administrativo de Planeación Municipal-DAPM (Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Alcaldía de Santiago de Cali, 2018). No obstante, la segregación socioeconómica del espacio urbano tiene relaciones complejas según la condición étnica, etaria, educativa, cultural u origen migratorio, entre otras (Loaiza & Carvajal, 2014). Los autores determinaron que mientras la ciudad se extiende hacia las periferias, la segregación espacial aumenta hacia las laderas en el occidente y las márgenes del río Cauca en el oriente, lo que coincide con la localización de grupos étnicos o en condición de pobreza, situación que el Gobierno Nacional definió cuando una persona devengue menos del 35% un salario mínimo legal vigente (DANE, 2019).

Con esto se corrobora la necesidad del aumento en la seguridad alimentaria en los barrios de las laderas de la ciudad de Cali y por lo tanto, se desarrollen proyectos como el del presente documento que fue realizado en una huerta comunitaria ubicada en el barrio Puertas del Sol, de la comuna 14. Según el Censo Nacional de Población y Vivienda realizado por el DANE en 2018, en cuanto a población, en esta comuna habita el 5,2% de la población total de la ciudad, es decir, 127.918 habitantes, lo que la convierte en la segunda más poblada después de la comuna 17. En tal estudio denominado “Una mirada descriptiva a las comunas de Cali”, especifican que la comuna 14 está conformada por 32.116 viviendas, que corresponden al 6,4% del total para Cali. Por último, el número de viviendas por hectárea es 70,7, cifra considerablemente superior a la densidad de viviendas para el total de la ciudad que es de 41,7 viviendas por hectárea (Alonso, Arcos, Solano, Vera, & Gallego, 2007).

Por otro lado, cifras del DANE muestran que Cali es la ciudad que presenta los índices más altos de precios al consumidor en referencia a los alimentos de la canasta familiar, siendo las frutas frescas, hortalizas y legumbres frescas los que más aportan a la

variación y contribución de los gastos (DANE, 2016). Adicionalmente, un informe de Numbeo (base de datos mundial de precios de consumo informados-canasta familiar, calidad de atención médica, entre otras) determina que Cali en 2019 fue la segunda ciudad del país en la que más aumentó el costo de vida para los ciudadanos (El Tiempo, 2020). Esta situación es particularmente problemática para las personas que habitan en zonas marginales de la ciudad, quienes debido a limitaciones económicas ven cada vez más afectado su acceso a los alimentos.

Por otro lado, las estadísticas del Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali (2011), muestran que en los hogares más pobres de la ciudad (niveles 1 y 2 del SISBEN) la jefatura femenina es predominante, especialmente en los conglomerados afrodescendientes, lo cual refleja la necesidad de encontrar alternativas de actividades productivas ejecutables dentro o cerca del sitio de residencia para que de esta manera las madres cabeza de familia puedan contribuir a la seguridad alimentaria al tiempo que cuidan sus hijos.

La agricultura urbana representa una tendencia global que se ha venido implementando en varios países en vía de desarrollo como alternativa para asistir en la problemática de pobreza urbana e inseguridad alimentaria (Orsini, Kahane, Nono-Womdim, & Gianquinto, 2013), y que hasta el momento ha sido poco explorada en Colombia y particularmente en la ciudad de Cali. Las distintas técnicas de cultivos sin suelo (hidropónicos, aeropónicos y acuapónicos) ofrecen un gran potencial para el mejoramiento de los sistemas de abastecimiento urbano de frutas y hortalizas frescas, puesto que reducen los costos asociados a transporte y son más eficientes en el uso de espacio, agua y nutrientes que las técnicas de cultivo en suelos (FAO, 2014). Específicamente en la zona de estudio, se han realizado trabajos de agricultura urbana cultivando frijoles, cilantro, tomate, entre otras especies, por medio de talleres con la comunidad, por lo que existe un previo conocimiento de su importancia.

Dentro de las técnicas de agricultura urbana mejor establecidas en el mundo se encuentran los sistemas hidropónicos, los cuales consisten en cultivos de plantas a partir de una solución rica en nutrientes. En lugar de utilizar el suelo como sustrato, los cultivos hidropónicos aprovechan materiales inertes como esferas de arcilla, arena lavada, entre otros; que sirven de soporte para las raíces de las plantas. La premisa básica es permitir que las raíces de las plantas entren en contacto directo con una solución nutritiva y que también tengan adecuado intercambio de gases en las raíces (Bradley & Marulanda, 2001).

Las ventajas principales de los sistemas hidropónicos sobre los cultivos en suelo son: mayor velocidad de crecimiento de la planta, mejor rendimiento de biomasa a partir de

los nutrientes suministrados, mayor facilidad en el control de factores ambientales (humedad, pH, temperatura, iluminación), menor riesgo de infestaciones y contaminación con microorganismos patógenos del suelo, disminución o eliminación del uso de pesticidas, versatilidad de construcción en formato vertical y en espacios reducidos, menor consumo de agua y nutrientes (Beltrano, 2015). Por las razones previamente descritas, se justificó el diseño, construcción y estudio de la operación de sistemas hidropónicos adaptables a las condiciones de espacio y recursos de las comunidades ubicadas en el Distrito de Aguablanca, que es uno de los sectores con mayor prevalencia de inseguridad alimentaria en la ciudad de Cali.

En el marco de la situación de pobreza e inseguridad alimentaria que sufre un sector considerable de la población en la ciudad de Cali, surge la necesidad de crear sistemas urbanos de producción de alimentos, como estrategia para el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes en condición de alta vulnerabilidad socioeconómica.

6. MARCO REFERENCIAL

6. 1. MARCO CONTEXTUAL

6.1.1. Agricultura urbana

Históricamente, los cultivos en suelo de las zonas rurales han sido la principal fuente de suministro de alimentos para los habitantes de las zonas urbanizadas, lo cual impone presión sobre el medio ambiente ya que las zonas rurales también deben sostenerse como reserva importante de recursos naturales y ecosistemas. Por otra parte, existe un fenómeno global en el que las personas que viven en las zonas rurales y se dedican a labores agrícolas tienden a recibir menores ingresos económicos que las personas que viven y trabajan en las ciudades. El acceso a servicios y educación de buena calidad también resulta privilegiado en las ciudades respecto al campo, lo cual explica fenómenos migratorios hacia contextos urbanos en varias regiones del mundo (Gutiérrez, 2013).

De acuerdo a ello, la agricultura urbana provee una estrategia complementaria para reducir los problemas de pobreza e inseguridad alimentaria y también contribuye a la mitigación del impacto ambiental en las ciudades. En términos de seguridad alimentaria a nivel de los hogares, la práctica de la agricultura urbana tiene potencial para convertirse en una fuente de ingresos, puede proveer acceso directo a mayores cantidades de alimentos de alto valor nutricional, ofrecen la posibilidad de una dieta más variada, incrementan la estabilidad en el consumo de alimentos frente a variaciones estacionales y demás razones de desabastecimiento temporales, y a diferencia de otras actividades económicas urbanas (las cuales por lo general se llevan a cabo lejos de los sitios de residencia), y en algunos casos también permiten incrementar el tiempo que las madres disponen para el cuidado de sus hijos (Egal, Valstar & Meershoek, 2001; Maxwell, 2003).

La tabla 2 muestra los sistemas utilizados en la agricultura urbana y periurbana en América latina y el Caribe. Altieri et al. (1999) investigaron los sistemas utilizados por los granjeros urbanos en Cuba y evaluaron el impacto sobre la seguridad alimentaria de estas actividades en distintas poblaciones urbanas y periurbanas de la isla. Sin duda, Cuba representa uno de los ejemplos más destacables en cuanto avances en agricultura urbana para el autoabastecimiento de alimentos. A finales de la década de los 80, el colapso del bloque socialista dejó a Cuba en una situación de crisis económica causada por la pérdida del comercio con sus aliados políticos. Esto motivó la creación de un gran número de jardines urbanos que ayudaron a estabilizar el abastecimiento de productos agrícolas en los centros urbanos.

Tabla 2. Sistemas utilizados en la agricultura urbana. Fuente: Zaar (2011).

Sistema Utilizado	Localización	Base tecnológica	Usuarios	Orientación potencial
Huertos Intensivos	Periurbano	Manejo orgánico e inorgánico	Familias en trabajo colectivo	Comercial
Huerto organopónicos	Periurbano	Manejo y sustrato orgánico	Individual o colectivo	Autoconsumo/comercial
Micro huertos hidropónicos	Urbano	Soluciones nutritivas, control y reciclaje de nutrientes	Familiar	Autoconsumo
Huertos caseros comunitarios	Urbano	Manejo agronómico convencional	Escuelas o colectivos familiares	Autoconsumo/comercial
Huertos integrales	Periurbano	Depende del modelo productivo	Granjas escolares o colectivos familiares	Autoconsumo comercial
Empresa hidropónica de mediana escala	Periurbano	Soluciones nutritivas recirculantes	Empresa Familiar	Comercial

Los autores encontraron que alrededor de 8000 granjas urbanas habían sido desarrolladas y manejadas con base en principios agroecológicos, los cuales eliminan el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, enfatizando la diversificación, reciclado y el uso de recursos disponibles localmente. Pocos años después de la construcción de estas granjas, se calculó una producción promedio de 8500 toneladas de frutas y verduras en un solo año. Desde ese entonces, el funcionamiento de las granjas urbanas ha jugado un papel importante en el sostenimiento y la seguridad alimentaria en la Isla.

En la Ciudad de México, los jardines urbanos comenzaron a establecerse en los años 80 como respuesta al crecimiento acelerado de la ciudad, a la creciente disponibilidad de residuos y subproductos orgánicos, y a la necesidad de mejorar la estética urbana y promover el turismo. Losada et al. (1998) describieron la escala y naturaleza de los sistemas de producción agrícola en las zonas urbanas, suburbanas y peri-urbanas de la Ciudad de México, y analizaron cómo estos se adaptaron a la demanda cambiante de alimentos en la metrópoli.

Los autores discutieron también las ventajas ecológicas, el efecto en la disminución de los índices de desempleo, y más importante aún, la influencia sobre las determinaciones que desde ese entonces han tomado las autoridades en materia de manejo de la expansión urbana. A finales de los 90, la producción de vegetales y leguminosas en zonas peri-urbanas generaban hasta el 80% de los ingresos de los hogares granjeros en la Ciudad de México (Torres, Rodríguez & García, 2000).

Honduras se encuentra en la lista de los países más pobres del mundo, las zonas rurales de este país presentan limitaciones en cuanto a cobertura y calidad de los servicios sociales. Además, de contemplar el aumento de migración de personas del campo a la ciudad, generando franjas de pobreza que han ido creciendo desde los años 60. En este proyecto principalmente participaron mujeres cabeza de hogar, donde el promedio de personas por familia es de 5 y el 69% de los hogares no presentaban ningún tipo de siembra en sus hogares (Cherrett, 2012). Las actividades del proyecto incluyeron múltiples puntos, entre los cuales realizaron capacitaciones acerca de las tecnologías apropiadas para la producción urbana de alimentos saludables, tales como: hortalizas, frutales, vegetales, entre otros cultivos.

Adicionalmente, se capacitó sobre la importancia de la diversidad de producción y del balance de la dieta alimenticia adecuada para cada familia, junto con los requerimientos nutricionales mínimos y el aprovechamiento de los productos de sus propios cultivos. Los resultados de este proyecto fueron gratificantes, debido a que contribuyó con el mejoramiento de la seguridad alimentaria nutricional de unas seis mil personas (entre ellas, las que participaron y sus familiares beneficiados), los resultados arrojaron un mejoramiento del estado nutricional de las personas y un alivio monetario en el hogar (Cherrett, 2012).

En Colombia, Monroy (2016) con su trabajo de grado titulado “Agricultura urbana como alternativa de seguridad alimentaria y nutricional. Familias de la UPZ Marruecos,

localidad Rafael Uribe Uribe, Bogotá”, hace referencia a los efectos de la práctica de producción de alimentos en hogares compuestos entre 3 y 5 personas. Los resultados arrojados por el proyecto concluyeron que la población femenina participante fue la más contribuyente en las actividades de agricultura urbana. El proyecto demostró un favorable aumento de la disponibilidad y diversificación de alimentos a nivel local, mejorando de esta manera la seguridad alimentaria y nutricional de las familias participantes a través del acceso directo de alimentos saludables. Otro resultado interesante fue el surgimiento espontáneo de emprendimientos solidarios, en los cuales, por iniciativa propia, los participantes del proyecto empezaron a comercializar y/o intercambiar sus alimentos con los vecinos del sector.

Por otro lado, en un estudio llevado a cabo por la Universidad del Quindío en 2014, investigadores desarrollaron un prototipo de cultivo hidropónico vertical con la capacidad de controlar automáticamente los parámetros operativos de este tipo de sistemas, que normalmente deben ser supervisados por varias personas en el caso de grandes cultivos. Entre las funciones que tiene el prototipo está la de permitir el ingreso de agua y mantenerla en un nivel ideal constantemente para la hidratación de las plantas, función que es análoga con esta investigación de sistemas hidropónicos. Al construir el cultivo de este formato, hay mayor cantidad de plantas por metro cuadrado y adicionalmente, el diseño planteado facilita el manejo del sistema eléctrico y electrónico del CVH-A “cultivo vertical hidropónico automatizado. Además, los investigadores utilizaron mecanismos que incluyen sensores de flujo, motobomba, válvulas, entre otros y múltiples cuidados con las semillas a sembrar como la disolución del efluente nutritivo y tener presente la temperatura ambiente al momento de trasplantar las plántulas (Toro & Valenzuela, 2014).

Zeza y Tasciotti (2010) proveen una revisión comprensiva sobre la importancia de la agricultura urbana en algunos países subdesarrollados en términos de la participación de los hogares en actividades agrícolas, su relación con la proporción de ingresos generados en los hogares, el impacto sobre la calidad nutricional y la ingesta calórica de los integrantes del hogar. Para los países latinoamericanos presentes en la tabla 3, la participación de hogares que cuenten con ingresos generados a partir de la agricultura urbana, que constituyan por lo menos el 30% de sus ingresos, es en promedio el 9% de la población evaluada en el estudio de los autores mencionados; mientras que la proporción del ingreso total de la agricultura (muestra rural) es en promedio el 47%.

Tabla 3. Proporción de ingresos generados en el hogar. Fuente: Zezza & Tasciotti (2010).

País y Año	Proporción del ingreso total de la agricultura (muestra Urbana)	Proporción del ingreso total de la agricultura (muestra urbana y hogares participando)	% de hogares con ingresos provenientes de la agricultura urbana igual o mayores que 30% (50%)	Proporción del ingreso total de la agricultura (muestra rural)
Madagascar, 2001	21	63	21(18)	68
Malawi 2004	12	26	18(12)	77
Indonesia, 2000	3	27	5(3)	35
Nepal, 2003	11	19	13(8)	51
Albania, 2005	3	14	38(1)	43
Bulgaria, 2001	2	8	5(4)	20
Guatemala, 2000	5	11	9(5)	50
Nicaragua, 2001	5	8	7(4)	57
Panamá, 2003	1	3	1(0.5)	35

6.1.2. Fundación Nacederos

La Fundación Nacederos nace a raíz de la guía del Padre Julio López, quien reunió a los jóvenes del barrio Mujica y los incentivo a participar de labores sociales, generando que tuvieran una postura frente a las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales de la época; pues en los 90' la zona oriente de la ciudad de Cali contaba con alta presencia de milicias urbanas. El objetivo principal de la Fundación Nacederos es generar espacios de paz y de convivencia entre las personas del sector (Hurtado, 2016).

La misión de la fundación es brindar espacios lucidos de acción, reflexión, investigación y educación en sectores marginales y populares, con énfasis en el trabajo y desarrollo personal de mujeres, jóvenes y niños, promoviendo los derechos humanos, la economía solidaria, la cultura ecológica y la comunicación alternativa. En la actualidad, la fundación cubre gran parte de los barrios del Distrito de Aguablanca, y ofrece los siguientes programas: “Cocina Ancestral”, “Reflejos del Distrito”, “Cine pal’ Barrio”, “Huertas pal’ Barrio: sembrando conciencia” y “Mujeres Creciendo Juntas”. Además, sus programas de “Cocina Ancestral” y “Huertas pal’ Barrio” han llegado a las zonas

más afectadas del municipio de Yumbo, ayudando a fomentar el objetivo principal de la fundación, que en su logotipo (figura 1) incluyen a las semillas, símbolo de vida.



Figura 1. Logotipo de la Fundación Nacederos de Cali.

➤ Huertas pal' Barrio

Huertas pal' Barrio promueve la agricultura urbana, la economía solidaria, la gastronomía ancestral, la soberanía y libertad alimentaria a través de cultivos comunitarios, capacitaciones, talleres y mingas como espacio de trabajo conjunto. El programa busca el empoderamiento por las raíces ancestrales, que se ven afectados por el cambio de cultura del campo a la ciudad. También, alienta a las personas de la comunidad a ser creativas y creer en el progreso, la innovación tecnológica y las economías alternativas. Es decir, no olvidar las raíces, usar el ingenio para aplicar esas tradiciones de siembra y plantas ancestrales desde la ciudad. Huertas pal' Barrio ofrece los siguientes servicios a la comunidad:

- Producción orgánica sostenible
- Asesorías en agricultura solidaria
- Producción de deshidratados
- Asesorías para ejecutar unidades productivas
- Educación de manejo de residuos orgánicos y reciclaje
- Articulación en mercados móviles campesinos urbanos

La relación entre el presente proyecto y la fundación es muy importante ya que acerca la comunidad con la academia hilando proyectos de desarrollo social, investigación realizada en el barrio Puertas del Sol I, en la huerta El Edén. Además, la propuesta de que los integrantes de la fundación puedan cultivar sus propios alimentos por medio de la hidroponía y mejorando su seguridad alimentaria, genera distintas oportunidades como proveer un sustento económico con la venta de la cosecha en mercados móviles, progreso en su crecimiento personal, entre otras.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1. Seguridad alimentaria

De acuerdo con el Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA, 2011), contemplan que el concepto de Seguridad Alimentaria (SA) surge en la década del 70, basado en la producción y disponibilidad alimentaria a nivel global y nacional. En los años 80, se añadió la idea del acceso, tanto económico como físico. Y en la década del 90, se llegó al concepto actual que incorpora la inocuidad y las preferencias culturales, y se reafirma la Seguridad Alimentaria como un derecho humano.

Las frutas y verduras son alimentos que pocas veces se consumen en dichas áreas, debido a la pobreza y escasez de su economía, para ellos, es un lujo tener estos alimentos en su canasta familiar. En cambio, en un desayuno consumen, por ejemplo, un agua de panela y esperan el almuerzo con algo de proteínas vegetales como frijol o lenteja; cuando pueden, comen huevos y carne. No obstante, la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) de 2015 definió que la inseguridad alimentaria se redujo a 54,2% de los hogares con respecto a 2010, cuando se situó en 57,7%.

Adicionalmente, los datos de esta encuesta mencionan que más de la mitad de los hogares colombianos continúa con dificultades para conseguir alimentos; y ocho de cada diez hogares liderados por indígenas y cinco de cada diez cuyo jefe no tiene pertenencia étnica, se encuentran en inseguridad alimentaria. Entre tanto, seis de cada diez hogares liderados por mujeres y cuatro de cada diez liderados por hombres tienen este mismo problema (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, 2017).

6.2.2. Cultivos en viveros

Los viveros son estructuras que proporcionan un medio de control de los factores ambientales como temperatura, humedad, iluminación, etc. El tipo de estructura y los materiales usados para su construcción varían dependiendo de la necesidad de protección contra factores externos (por ejemplo, algunos se diseñan solamente para aislar las plantas de la lluvia y el viento, otros para prevenir la infestación con plagas, entre otros). Diversos factores influyen en el crecimiento de un cultivo tales como: precipitaciones, viento, temperatura, la composición del suelo, la exposición a fuentes de luz y el nivel de dióxido de carbono atmosférico. El control completo de la rizósfera es posible a partir de una variedad de medios de enraizamiento, los cuales pueden incorporar varias mezclas artificiales de materiales de cultivo (arena, turba, arcilla).

Las ventajas del uso de estos medios de cultivo se fundamentan en las características fisicoquímicas de los sustratos, mostrando beneficios respecto a los cultivos en suelo como la facilidad de control del consumo de agua, la oxigenación del medio y la disponibilidad de nutrientes, lo cual se evidencia en los mejores resultados de rendimiento. Otra ventaja es la reducción substancial del riesgo de contaminación con microorganismos patógenos del suelo y la facilidad de desinfección del medio entre ciclos de cultivo (Raviv, Lieth, Bar-Tal & Silber, 2008).

6.2.3. Vermicompost como fuente de nutrientes para la producción urbana de plantas

El vermicompost es una técnica de transformación de materia orgánica en formas más simples y biodisponibles de nutrientes que puede ser utilizado para el desarrollo de plantas. Esta técnica es relativamente sencilla y de bajo costo en comparación con el uso de fertilizantes sintéticos comerciales. En los años 90 se desarrolló un programa de investigación conocido como “Red Macrofauna”, dirigida por investigadores de América, África y Asia. El programa consistía en realizar estudios de conservación de la fertilidad de los suelos en sistemas agrícolas de bajos insumos de los trópicos húmedos manipulando colectivos de lombrices. Con este estudio encontraron que, las lombrices tienen una ingesta selectiva del suelo, ingieren partículas gruesas y finas (arcillas) y almacenan materia orgánica en sus turrículos, por lo que presentan incrementos importantes de nitrógeno y fósforo mineral (Martínez, 1999).

Las granjas de lombricultura sustentables manejan diferentes productos a base de las lombrices, entre ellas se encuentra abono orgánico, humos de lombriz, carne de lombriz, entre otros. Las técnicas de compostajes con lombrices generan una rápida descomposición de los residuos de plantas (hojas secas) y de otros organismos de material biológico, ricos en N, P y K (Martínez, 1999).

El humus de lombriz líquido o también denominado lixiviado de lombriz, se implementa como fertilizante líquido en los sistemas de fertirrigación, además, se pueden usar como abono foliar, debido a que es un producto natural obtenido por la degradación de material orgánico, haciéndolo un producto ideal para el campo y la floricultura. Algunas de las propiedades del lixiviado de lombriz son: se considera un producto prácticamente neutro, aumenta significativamente la fabricación de clorofila en diferentes plantas, es asimilado fácilmente por la raíz y las estomas, su aplicación reduce notablemente la contaminación de químicos en los suelos, disminuye a gran escala el shock-trasplante y aumenta la biomasa de micro organismos que se encuentran en el suelo. En la tabla 4 se muestra la composición del humo de lombriz.

Tabla 4. Composición del humus de Lombriz Californiana. Fuente: (Escobar, 2013)

Propiedad	Rango	Propiedad	Rango
Humedad	30-60 %	Cobre	0,05%
pH	6.8 – 7.2	Hierro	0,02%
Nitrógeno	1 -2,6 %	Manganeso	0,006%
Fósforo	2 – 8 %	Materia orgánica	30 – 70%
Potasio	1 -2,5%	Carbono orgánico	14 – 30%
Calcio	2 – 8%	Ácidos fúlvicos	14 – 30%
Magnesio	1 – 2,5%	Ácidos húmicos	2,8 – 5,8%
Sodio	0,02%	Relación C/N	10 – 11%

Para que la técnica de Vermicompost se desarrolle eficazmente, se debe considerar un proceso relevante: la desinfección de la solución nutritiva. De acuerdo a Ikeda et al. (2002), se deben realizar las siguientes especificaciones: *“Tratamiento térmico: exponer la solución a una temperatura de 85 °C por 3 minutos, con el objetivo de eliminar a Fusarium y Virus del Mosaico del Tabaco. Para la eliminación de bacterias y nemátodo se necesita de 60 °C por 2 minutos”*.

Además, Escobar (2013) sugiere que “En general la elaboración de HUMUS reconoce tres etapas, en las dos primeras, etapas de fermentación, se verifican en condiciones aeróbicas, donde el aire debe circular libremente en la masa a compostar. La tercera etapa, etapa de maduración, se desarrolla sin presencia de aire, actuando microorganismos anaeróbicos. Es preciso tener en cuenta que, durante las tres etapas, la masa debe tener una humedad suficiente, sin humedad no se verifica fermentación, sin embargo, ésta humedad no debe ser excesiva, de lo contrario no habrá una adecuada circulación del aire y oxigenación en las dos primeras etapas y se disolverán los nitratos en la última etapa. Un manejo adecuado de la humedad y de la ventilación de la masa permite tener éxito en el proceso”. Por lo tanto, las anteriores recomendaciones se tienen en cuenta para el desarrollo del proyecto.

6.2.4. Aspectos básicos de la hidroponía

La hidroponía es una metodología de cultivo sin suelo, en la cual se utilizan soluciones enriquecidas con nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores, que le sirven a la planta como fuente de agua y nutrientes. De manera general, los sistemas hidropónicos están comprendidos por dos elementos estructurales fundamentales: los recipientes de cultivo y el tanque de almacenamiento de la solución de alimentación (también llamado reservorio). Los recipientes de cultivo pueden ser macetas perforadas o canastillas plásticas, o de cualquier material resistente al agua.

Normalmente los recipientes se llenan con un sustrato inerte (arcilla expandida, perlita, fibra de coco, etc.) que sirve como soporte para las raíces y además tiene cierta capacidad de retención de agua y aire. El tanque de almacenamiento es un recipiente de gran capacidad en el que se almacena la solución nutritiva. Existen distintas formas de fertirrigación (i.e. entrega controlada de agua y nutrientes) en los sistemas de cultivo sin suelo (ver figura 2).

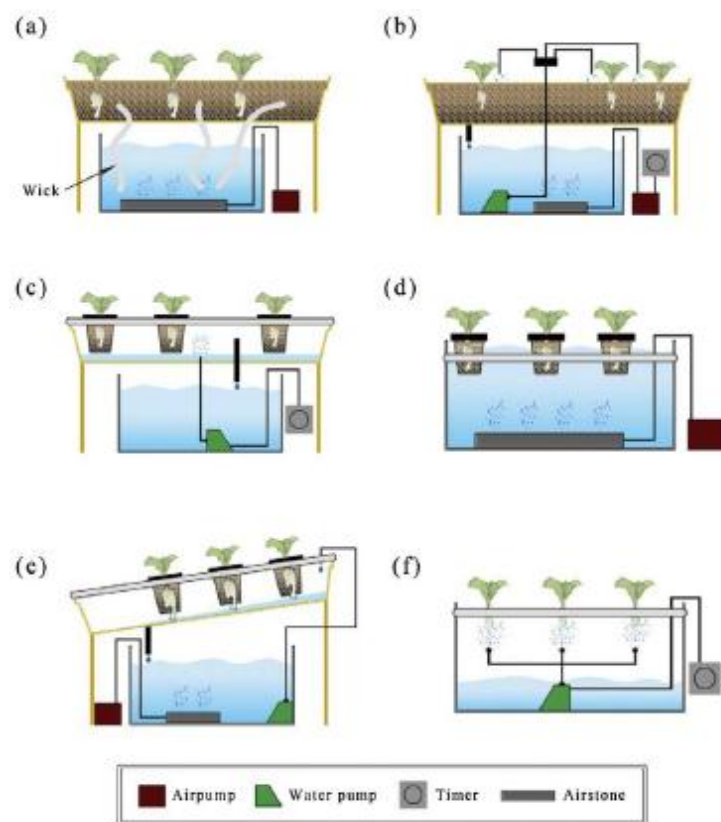


Figura 2. Distintos tipos de sistemas hidropónicos. (a) sistema de mecha absorbente, (b) sistema de goteo, (c) sistema de inundación y drenaje (d) sistema de inmersión profunda, (e) sistema de película nutritiva (NFT) y (f) sistema aeropónico. Fuente: Lee & Lee (2015).

Asimismo, dentro de los métodos más comunes se encuentran: a) sistemas de mecha absorbente que consiste en que no hay partes móviles, se aprovecha la acción de la mecha para extraer la solución nutritiva del reservorio; b) sistemas de goteado, consiste en controlar la bomba sumergida por medio de un temporizador; c) sistemas de inundación y drenaje, consiste en inundar temporalmente la bandeja de cultivo con la solución nutritiva y luego drenarla nuevamente al depósito; d) sistemas de inmersión profunda, consiste en que las raíces deben estar totalmente sumergidas mientras una bomba de aire suministra aire a la piedra de aire que burbujea la solución nutritiva y suministra oxígeno a las raíces de las plantas; e) sistemas de película nutritiva (NFT), consiste en un flujo constante de solución nutritiva sobre las raíces que luego se drena de nuevo al depósito recirculándose; y por último, f) sistemas aeropónicos, de alta tecnología que consisten en que las raíces cuelgan en el aire y se empañan con una solución nutritiva, las nebulizaciones se suelen realizar cada pocos minutos y debido a que las raíces están expuestas al aire como el sistema NFT, las raíces se secarán rápidamente si se interrumpen los ciclos de nebulización.

Algunos de estos sistemas requieren el uso de bombas sumergibles para la circulación de la solución nutritiva, y compresores de aire para la oxigenación del líquido en el tanque de almacenamiento. Para esta investigación, se eligieron los sistemas de Película Nutritiva y de Inundación y Drenaje. Se reitera que el primer sistema implementa una capa delgada de nutrientes disueltos en agua que fluye a través de los canales de cultivo por gravedad y es recirculada a través de una bomba sumergible ubicada dentro del reservorio. El segundo sistema es de Inundación y drenaje y se basa en el llenado y drenaje cíclico de los canales de cultivo con la solución nutritiva con periodos de 8 horas; los periodos de vaciado coinciden con el periodo nocturno en el cual las plantas presentan menor requerimiento de agua (Lee & Lee, 2015).

6.2.5. Sustrato hidropónico

El sustrato es un material sólido e inerte que tiene como objetivo dar soporte estructural a la raíz de la planta, al tiempo que crea un microcosmos adecuado para el intercambio de gases, agua y nutrientes. El material del sustrato puede ser orgánico o mineral, para la elección del sustrato a usar en hidroponía se sugiere tener presente las cualidades fisicoquímicas (estabilidad y durabilidad), costo, fácil manipulación y el impacto que genera en el medio ambiente. Los sustratos más implementados para la hidroponía son: arena de río, aserrín, perlita, arcilla expandida, fibra de coco y cascarilla de arroz (Muriel, 2019; Langlais & Ryckewaert, 2001).

6.2.6. Solución nutritiva

La hidroponía promueve el uso eficiente agua y nutrientes esenciales para el óptimo crecimiento de la planta. Además, la hidroponía permite el uso de aguas duras y moderadamente salina. Para lograr un adecuado desarrollo, las plantas requieren la absorción desde las raíces de (i) macronutrientes: nitrógeno, fósforo, y potasio, (ii) micronutrientes: boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, (iii) agua y (iv) oxígeno. La proporción de cada componente depende de los requerimientos metabólicos de la especie vegetal particular.

La solución nutritiva se puede preparar mediante la mezcla de agua y fertilizantes químicos comerciales, o mediante un proceso de conversión biológica de materia orgánica (e.g. fermentación líquida, compostaje) que genere nutrientes biodisponibles para las plantas (Escobar, 2013). Independientemente del origen de los nutrientes, se debe controlar la concentración de estos en la solución hidropónica ya sea mediante medidas directas (con sensores selectivos para cada elemento químico), o indirectas (con sensores de pH y conductividad eléctrica). El pH recomendado es de alrededor de 6,5 agregando ácido fosfórico o nítrico y la conductividad eléctrica debe de estar aproximadamente en 3,5 dS/m.

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de producción urbana de alimentos a partir del diseño, construcción y evaluación de dos cultivos hidropónicos en un barrio marginal de Cali.

7.2. Objetivos Específicos

1. Construir los sistemas de cultivo de inundación y drenaje y de película nutritiva, a partir de materiales de alta disponibilidad local y bajo costo, y en formatos adaptables a las condiciones de espacio disponible para agricultura comunitaria en el Distrito de Aguablanca.
2. Obtener una solución nutritiva para hidroponía a partir del aprovechamiento de residuos de cocina.
3. Realizar el seguimiento *in-situ* y evaluación de la operación de los sistemas construidos durante un ciclo de cosecha de una planta modelo.
4. Introducir el concepto de hidroponía en la comunidad del barrio puertas del sol del Distrito de Aguablanca.

8. METODOLOGÍA

8.1. Construcción de los sistemas de cultivo de inundación y drenaje y de película nutritiva, en formatos adaptables a las condiciones de espacio disponible para agricultura comunitaria en el Distrito de Aguablanca.

8.1.1. Reconocimiento de la zona y elección del sitio de construcción del vivero

Como primera instancia, se realizó la búsqueda de una zona apta para el desarrollo del proyecto; dentro de las metas planteadas estaba comprender mejor las condiciones del contexto social y su interrelación con las prácticas de ingeniería mediante la construcción y operación *in-situ* de los sistemas de producción, y la participación activa de la comunidad beneficiada. Por esta razón se estableció el contacto con los encargados del proyecto “Huertas pal’ Barrio” de la Fundación Nacederos, la cual ha venido realizando labores sociales en el Distrito de Aguablanca por más de tres décadas (Anexo 1).

La colaboración con esta organización fue fundamental para garantizar apoyo logístico y el acceso seguro de los estudiantes y profesores a la zona de trabajo. De esta manera, se acordó realizar la construcción del vivero en el barrio Puertas del Sol I del Distrito de Aguablanca, de la comuna 14 de la ciudad de Cali (figura 3). Este lugar presentaba ventajas como fácil acceso con transporte público, presencia de una estación de policía, y la preexistencia de una granja comunitaria denominada “El Edén”, la cual es administrada por la Fundación nacederos y la junta de acción comunal del barrio. Dentro de la granja El Edén se designó un espacio para la construcción del vivero hidropónico.

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para la selección del espacio fueron: exposición de luz solar, sombra por vegetación aledaña, cercanía a la fuente de agua potable, facilidad de supervisión del proyecto por parte de los residentes, fácil acceso para la comunidad, lejanía de los animales de la granja y disponibilidad de una fuente de energía eléctrica.

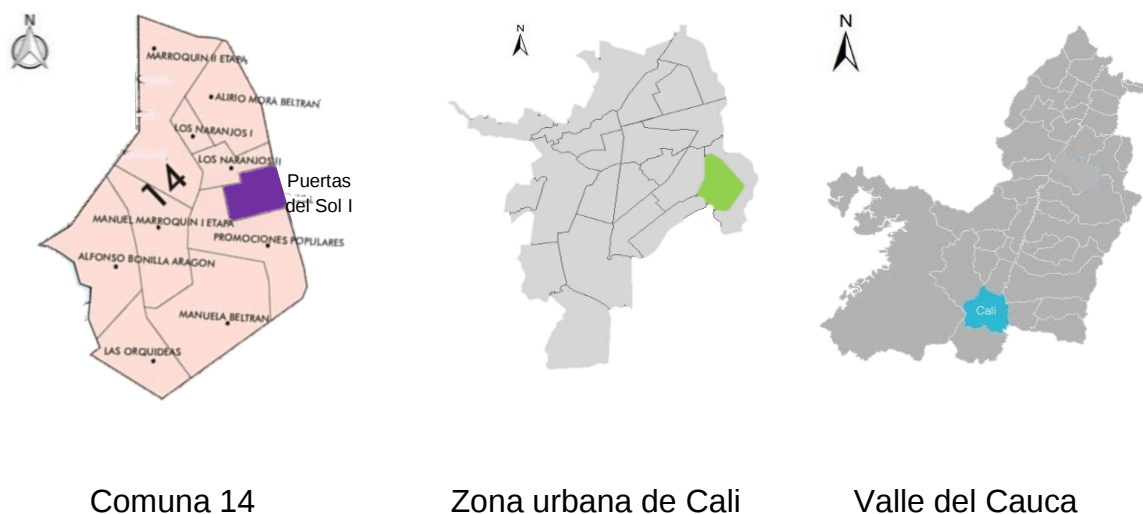


Figura 3. Mapa de división de la comuna 14 de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. La región de color morado fue el lugar del proyecto. Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2004).

8. 1.2. Diseño y construcción del vivero

Luego de designado el espacio, se procedió a identificar los factores que podrían afectar el desarrollo adecuado de las plantas, como la presencia de plagas, roedores, y aves, para de esta manera incluir medidas de prevención frente a tales factores en el diseño del vivero; adicionalmente se seleccionaron materiales de construcción de bajo costo y fácil obtención para la comunidad y así facilitar futuros procesos de mantenimiento y reparación a cargo de la comunidad. Específicamente, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: iluminación, ventilación, protección de animales terrestres, firmeza y resistencia, fuente de agua y de energía.

En consideración a los parámetros anteriores, se procedió a realizar los planos del vivero y su respectiva construcción, la cual se llevó a cabo en aproximadamente 2 meses, entre enero y marzo de 2019. La participación de la comunidad fue fundamental para el desarrollo de esta etapa del proyecto, en el Anexo 1 se encuentran las fotografías que evidencian las etapas de construcción del vivero.

Cabe mencionar que antes de la construcción, se realizó un desabastecimiento de la maleza, nivelación del suelo y eliminación de vegetación cercana que afectara la entrada de luz solar. Además, se hizo un proceso de inmunización en la guadua con ACPM (diésel) y alquitrán. También, se tuvo en cuenta el ángulo de inclinación que

deben de tener los techos de los invernaderos (30°), para facilitar que las gotas de agua lluvia caigan hacia los lados y no sobre los cultivos (Marín, 2013). En el Anexo 2 se pueden observar el registro fotográfico.

8. 1.3. Diseño y construcción de los sistemas hidropónicos

De manera paralela a la construcción del vivero, se procedió a diseñar y construir dos tipos de sistemas hidropónicos: la técnica de Película Nutritiva (NFT por sus siglas en inglés) y la técnica de Inundación y Drenaje.

Los sistemas hidropónicos se construyeron con materiales inertes, durables, de fácil obtención y bajo costo, tales como tereftalato de polietileno (botellas plásticas, macetas, tanques, canastillas), policloruro de vinilo (tuberías, empates y tubos de crecimiento), varilla roscada, tuercas, cinta termoencogible y pegante de PVC. Las estructuras se diseñaron en formato vertical, con andamios para optimizar el uso del espacio tridimensional.

Para ambos sistemas, se implementó el mismo diseño de canales de producción. Los canales fueron contruidos con tubos de PVC de 4", tapones, accesorios de sistemas de riego y manguera común. Por cuestiones de espacio, se decidió utilizar canales de producción con una longitud de 1m. Una vez limpio el tubo de PVC, se procese a seccionar la longitud que tendrá cada soporte de las plantas (la medida varia para cada tipo de cultivo, el rango se encuentra entre 10 y 20 cm), para el caso de los cultivos de Lechuga Romana la separación fue de 15 cm y para la Espinaca fue de 10 cm; los agujero se realizaron con la ayuda de un taladro y con una copa de 3", en este caso el diámetro de un vaso plástico de 9 onz (ver Anexo 4).

Luego se procede a organizar la distribución de las entradas y salidas de la solución nutritiva de cada canal, adecuando para cada sistema, teniendo presente la capacidad necesaria, el nivel entre la solución nutritiva y el espacio para la oxigenación de las raíces.

8.1.3.1. Construcción del soporte para los Sistemas NFT

Como el funcionamiento de este sistema depende de la recirculación de una capa delgada de solución nutritiva, se construye una estructura que sea fácilmente modificable y que se pueda dar la inclinación necesaria para que la gravedad sea la responsable de la circulación de la solución de una canal a otro y de esta forma utilizar una bomba de bajo costo que solo dé el impulso hacia el canal superior. En la figura 4

(a), se observa el esquema diseñado para el soporte de estos sistemas, donde el lado 1 y 2 son las vigas que sostienen los canales de distribución y tienen una inclinación de 45° (β).

8.1.3.2. Construcción del soporte para los Sistemas de Inundación y Drenaje

Las especificaciones de este sistema se basan en un sistema que debe estar a nivel con la superficie de apoyo, en este caso el suelo. Este sistema se basa en una base simple estilo “cama”, donde los canales cuentan con un apoyo (lado 1 y 2, de la Figura 4 (b)). Para este prototipo la solución nutritiva ingresara por uno de los lados en los 6 canales de producción al mismo tiempo e irán saliendo paulatinamente al tiempo. Estos sistemas a diferencia del diseño de los Sistemas NFT, no cuentan con un proceso automatizado, por lo cual, necesita de un monitoreo diario, donde se abre el paso de la solución nutritiva hasta la mitad de los canales (proceso de inundación) y luego de un tiempo determinado (dependiendo de las especificaciones del cultivo), inicia a drenar la solución nutritiva, permitiendo la oxigenación en las raíces.

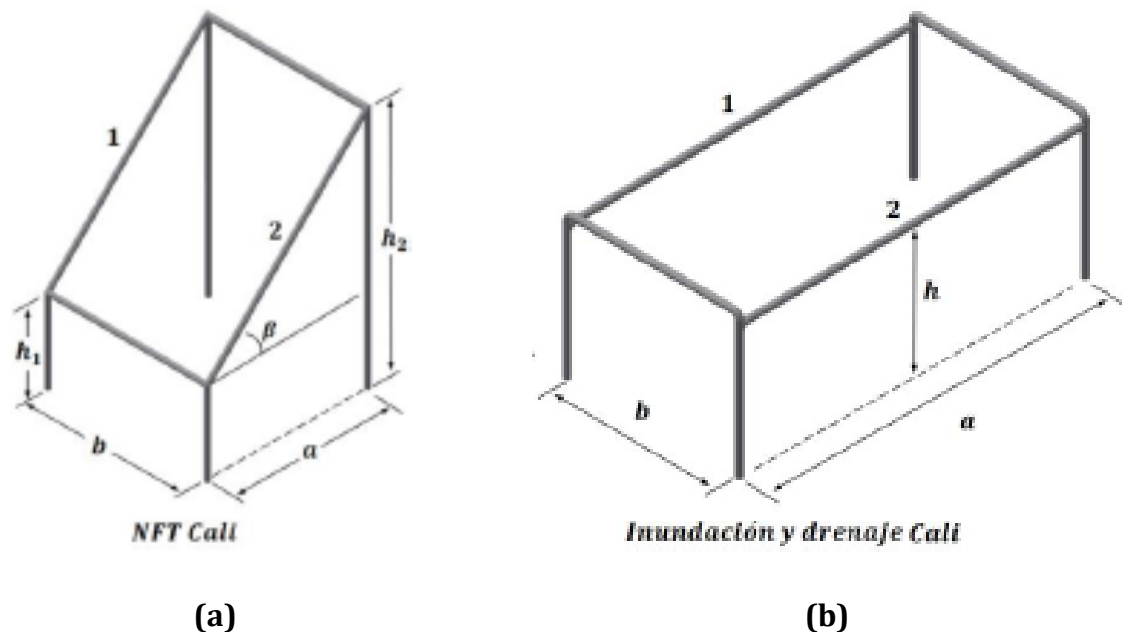


Figura 4. Esquema general de los soportes de (a) los sistemas NFT y (b) los sistemas de Inundación y Drenaje. Fuente: (Rosero, 2019)

Los accesorios y materiales necesarios para la elaboración de los soportes de los Sistema de Inundación y Drenaje y los Sistemas NFT se especifican en el Anexo 3, las dimensiones de los tubos de PVC de 3" y la ubicación de los accesorios, se pueden observan en las Figura 10 y 11, respectivamente.

Finalmente, se determinó que la construcción de los sistemas puede ser replicada e implementada en cualquier zona de Cali y fuera de ella (incluso en terrazas de viviendas), debido a sus materiales asequibles y de bajo costo.

8.1.4. Pruebas de resistencia y calidad de los sistemas hidropónicos

La construcción de los sistemas hidropónicos se llevó a cabo en el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en la facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Luego de culminar esta etapa, se procedió a realizar pruebas de resistencia y calidad, tanto a los canales de producción como a las estructuras. En este proceso, se dejaron los sistemas con agua por más de 12 horas, para comprobar si presentaban algunas fugas en las uniones de los tubos y los accesorios instalados en los canales. También, se realizaron pruebas y correcciones en las inclinaciones de los canales, en el caso de los sistemas NFT; para los sistemas de I&D se realizaron correcciones de inclinación, debido a que este sistema debe estar a nivel para tener un óptimo funcionamiento.

Posteriormente, se realizaron pruebas de operación con unas primeras bombas sumergibles (caudal: 1200L/h, altura: 2m, potencia: 28w) y aunque eran muy potentes y manejaban un caudal alto, no lograban alcanzar la altura necesaria, por ende, se recurrió a la búsqueda de otra bomba de bajo costo que si cumpliera con las especificaciones requeridas para los sistemas construidos con estas características: caudal 240L/h, altura 3m, potencia 3,6w. Además, las primeras bombas requerían de un convertidor para poder conectarse con el sistema eléctrico que suministraría el panel solar.

Cuando los sistemas cumplieron con los estándares de calidad, se procedió a transportar los sistemas hasta el barrio Puertas del Sol I del Distrito de Aguablanca. Se almacenaron en un cuarto provisto por la comunidad mientras se culminaba la construcción del vivero. Una vez ya construido el vivero, se realizó la instalación de los sistemas hidropónicos.

8.2. Obtención de una solución nutritiva de bajo costo para el desarrollo de cultivos en sistemas hidropónicos

8.2.1. Obtención de lixiviado de vermicompost

Para el proceso de vermicompost se utilizaron residuos de cocina, los cuales eran sometidos a una disminución de tamaño de partícula por cortado hasta aproximadamente 1 cm en su dimensión más larga. Este material era seguidamente depositado en un recipiente que contenía aproximadamente 20 lombrices californianas

obtenidas del señor Arturo Bolaños, lombricultor y apicultor en Dapa, Valle del Cauca. Este procedimiento se realizaba diariamente.

Para la obtención de lixiviado de vermicompost, se adaptó una materia plástica con diferentes filtros en la parte inferior para garantizar solo la obtención del lixiviado y evitar la pérdida de lombrices californianas, ver figura 5. La materia adaptada se colocó encima de una base y en la parte inferior se tiene un recipiente que recibe el lixiviado. Como tapa se utilizan dos capas de papel periódico con orificios y un trozo de tela de algodón de tonalidad oscura y que este constantemente húmeda.

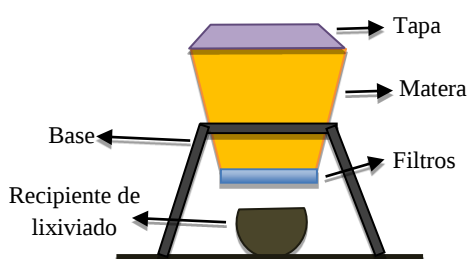


Figura 5. Estructura de la obtención del lixiviado de Lombriz Californiana.

Siguiendo las recomendaciones de Llanos (2001), se realizó una caracterización analítica del lixiviado en términos de concentración de nitrógeno, potasio y fósforo. Adicionalmente se realizó un análisis microbiológico de Coliformes fecales (termotolerantes), bajo el método SM9221E. A partir de la cuantificación de macronutrientes en el lixiviado, se determinó el plan de fertirriego de los cultivos modelo (lechuga y espinaca) en los sistemas hidropónicos.

8.3. Seguimiento in-situ y evaluación de la operación de los sistemas construidos durante un ciclo de cosecha de una planta modelo.

8.3.1. Elección de sustrato hidropónico

Las opciones de bajo costo que fueron consideradas como sustrato inerte fueron: vermiculita, fibra de coco y espuma agrícola. Dentro de estas opciones se escogió la espuma agrícola debido a que se puede adaptar a la forma del recipiente, tiene un balance de agua y aire, del 80% y 20%, respectivamente, lo que permite que las raíces se desarrollen adecuadamente y cumple al garantizarle firmeza a la planta (Comercializadora Hydro Environment S.A., s.f.).

8.3.2. Siembra y germinación de semillas orgánicas

Las semillas de lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) y espinaca (*Chenopodiaceae* Vent. *Spinacia oleracea* L.) se obtuvieron por medio del distribuidor ANASAC JARDIN S.A.S.

Con el fin de simplificar los procesos agrícolas, se planteó la opción de germinación directa de semillas en los canales hidropónicos, en contraste con la práctica habitual de germinación en recipientes individuales y posterior trasplante de plantas juveniles a los canales hidropónicos. Para evaluar este método, se utilizaron dos semillas de lechuga romana y dos de espinaca, cada par en un recipiente. Se observó que el sustrato que las contenía estuviera en contacto directo con la película nutritiva, de esta forma el sustrato poroso se saturaría de solución por fenómenos de capilaridad, generando las condiciones de humedad necesarias para la germinación de las semillas. Este procedimiento se realizó solo en el sistema NFT, debido a que el sistema de I&D presentaba lapsos de tiempo largo donde la semilla sufriría de estrés por falta de agua, generando que las plantas crezcan débiles y con tendencia a marchitarse (Diehl, Oviatt, Chandra, & Kaur, 2019).

Para el sistema de I&D, se realizó germinación en semilleros con una mezcla de vermiculita, compostaje y fibra de coco, en una proporción de 1:4:1, respectivamente. Para este método de germinación se realizó aspersión de agua sobre las plántulas una vez al día y en los días en que la temperatura ambiente sobrepasaba los 30 °C, la aspersión se realizaba dos veces.

8.3.3. Estrategias alternativas

El uso de la replicación por esquejes se planteó como metodología alterna en caso de que por factores no controlables fallara el método de la germinación directa y el de trasplante, en los sistemas. Teniendo presente este cambio, se sustituye el cultivo de Espinaca por el Apio, debido a que las características de la planta no son compatibles con este método alterno; además de que se requiere un cultivo con mayor velocidad de crecimiento.

8.3.4. Caracterización del funcionamiento de los sistemas de cultivo

Como variables de monitoreo, se estableció las características fisicoquímicas de la solución nutritiva y los parámetros de crecimiento de las plantas.

Los parámetros medidos en la solución nutritiva fueron pH, conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), volumen de solución consumida y evapotranspirada (L) y calidad química y microbiológica del efluente de los sistemas hidropónicos. Todas las variables fueron evaluadas *in-situ* mediante el uso de sensores comerciales (figura 6). Para la evaluación analítica del efluente se enviaron muestras al laboratorio ANALISIS AMBIENTAL S.A.S. (Cali, Colombia), donde se realizaron los análisis de cantidad de Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno total KJELDEHL, Nitritos, Nitratos, Potasio, Fosforo, Calcio, Hierro, Magnesio y Coliformes Fecales (termotolerantes); este último debido a la presencia de animales que se tiene en el sector, lo cual incrementa el riesgo de contaminación cruzada con microorganismos patógenos.

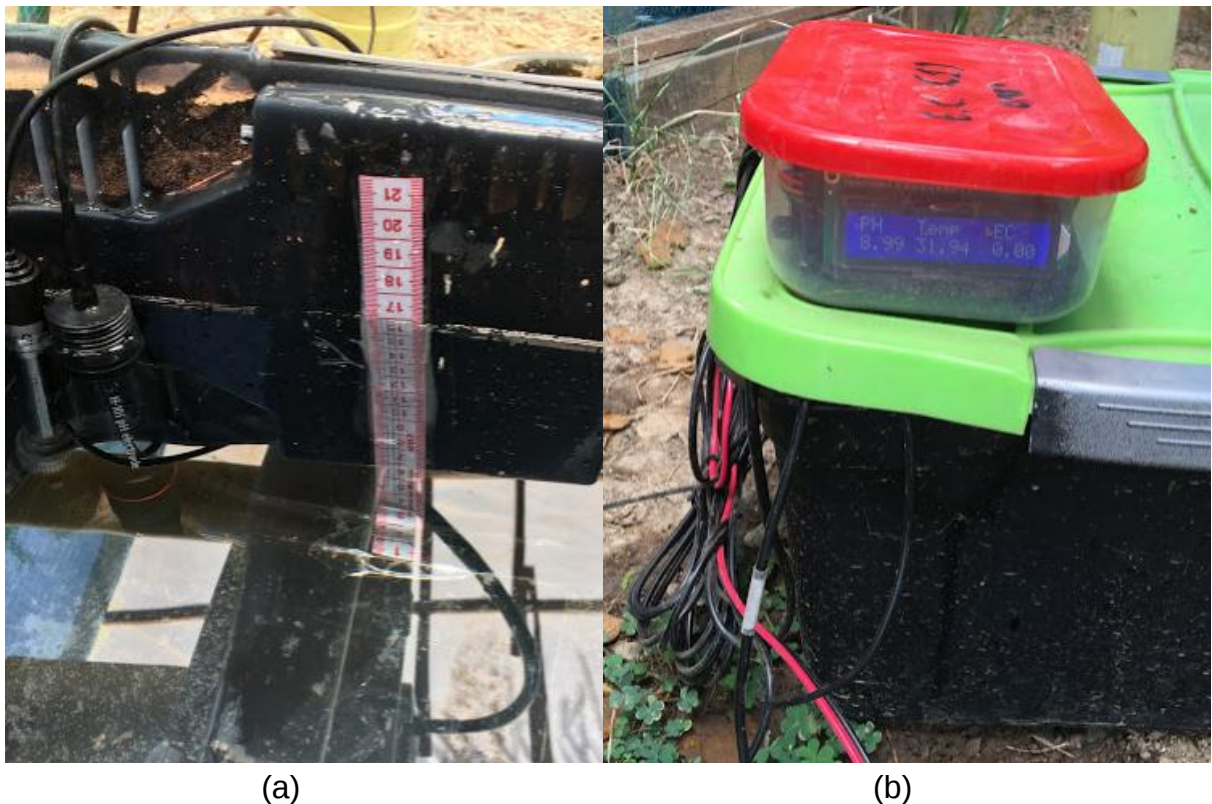


Figura 6. (a) Fotografía de los sensores en el tanque y el sistema de medición de consumo de solución nutritiva y (b) sistema de almacenamiento de datos en la parte externa del tanque.

8.3.5. Métodos de evaluación del crecimiento de las plantas

En cuanto a la caracterización por el crecimiento de las plantas, se tuvieron en cuenta la longitud vertical de crecimiento, desde la superficie de la espuma agrícola hasta la parte más alta de la planta y el crecimiento de la raíz, la medida fue desde el final de la espuma agrícola hasta la parte más larga de la raíz. También se tuvo en cuenta la densidad de siembra con respecto a la densidad de cosecha.

El estado general de las plantas se realizó con base en las condiciones en que se encontraron las hojas, el tallo y la raíz de la planta, haciendo una evaluación visual y usando como referencia la escala de la figura 7, se clasifica el estado de las hojas de la planta.

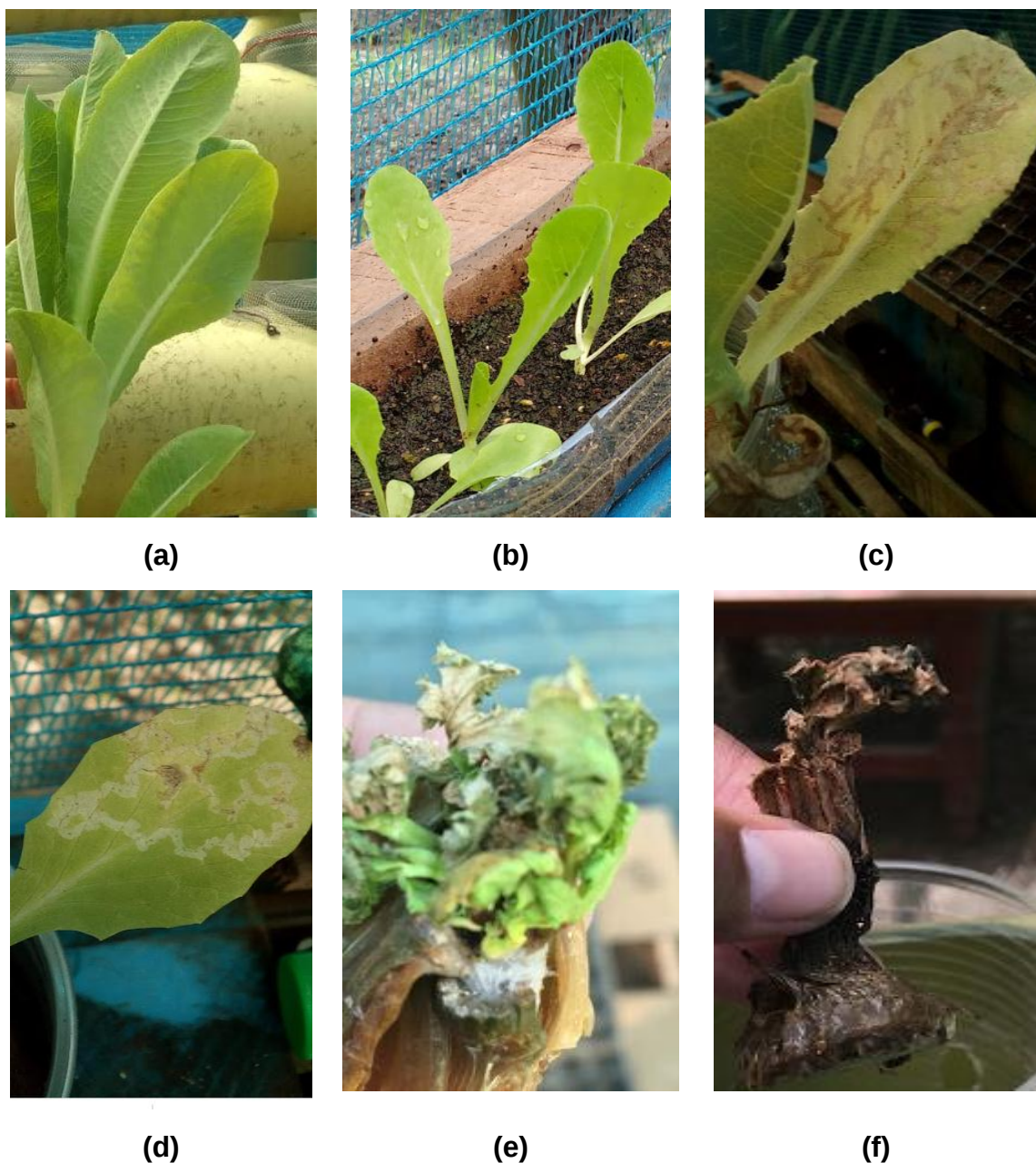


Figura 7. Clasificación visual de las hojas de la planta (a) y (b) buen estado, con buena coloración y sin daños, (c) y (d) enfermedad latente, pero se puede recuperar, (e) pudrición de tallo y hojas, muerte por exceso de agua y (f) deshidratación extrema, muerte por exceso de luz directa.

8.4. Introducción del concepto de hidroponía en la comunidad del barrio Puertas del Sol del Distrito de Aguablanca, y evaluación de posibilidad de adaptación a esta tecnología en el sector.

8.4.1. Introducción de la tecnología a la comunidad

Inicialmente, este proyecto se llevó a cabo debido a un contacto previo con el señor José Ney Pulido, director del programa “huertas pal’ barrio”. Por medio de él, se realizaron las labores de logística para el acercamiento con la comunidad en el barrio Puertas del Sol I en la huerta El Edén. De esta manera se coordinaron cinco visitas de reconocimiento con el personal académico del grupo de investigación; una de las visitas preliminares contó con la asesoría de dos visitantes internacionales: Gary Stutte, renombrado horticultor experto en hidroponía, y Eric McLamore, profesor de Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad de la Florida (USA). A esta reunión asistieron quince miembros de la comunidad y dieciséis miembros del grupo de investigación BioNovo de la Universidad del Valle. En visitas subsecuentes, se organizaron presentaciones y sesiones de diálogo del proyecto con planos en 3D mostrando un diseño provisional del vivero con el fin de generar interés en la tecnología de hidroponía. Aproximadamente, ocho personas asistieron a cada una de las sesiones descritas. Desde ahí, se procuró mantener un contacto cercano con las personas involucradas en las actividades de la huerta comunitaria mediante comunicación telefónica o presencial al menos 2 veces por semana.

Al inicio de la construcción del vivero y con la información brindada de manera constante, se logró involucrar seis personas en el componente práctico, obteniendo disposición de trabajar en el proyecto y la apropiación de la tecnología.

8.4.2. Capacitación e interacción de los sistemas hidropónicos y la comunidad

Se realizaron dos talleres discursivos con la comunidad de la huerta, para lograr una apropiación correcta de conocimiento, también se hicieron ejercicios de pregunta abierta a los participantes para evaluar lo aprendido en el taller. Todos los talleres comunitarios se realizaron en las instalaciones de la huerta El Eden, en fines de semana y en horas de la tarde para facilitar la participación de toda la comunidad interesada.

El primer taller se inició dándoles un contexto de la hidroponía en el mundo y se definió el término de hidroponía como una alternativa innovadora de producción de alimentos para su sustento, además de conceptos técnicos y de funcionamiento de la tecnología. Como segundo taller, se habló acerca del componente epistemológico del proyecto en

el cual se fundamenta en el principio de democratización del conocimiento y la tecnología, así como en la búsqueda de convergencia entre los saberes empíricos y contextuales de la comunidad, y el conocimiento técnico-científico del equipo académico. En este sentido, las decisiones del proyecto surgían a partir del dialogo y el entendimiento común entre las partes, y no de la imposición del conocimiento formal como criterio único para la asimilación tecnológica.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Construcción de sistemas hidropónicos con materiales de bajo costo

9.1.1. Elección de la zona de construcción del vivero

La idea inicial del proyecto era implementar los sistemas hidropónicos directamente en los hogares de los residentes del barrio Puertas del Sol I en la comuna 14 de la ciudad de Cali. Sin embargo, para alcanzar un mayor alcance se decidió articular el proyecto con la iniciativa comunitaria de agricultura urbana ya existente en el sitio de intervención. Adicionalmente por disponibilidad de tiempo y espacio por parte de los residentes del sector, se privilegió la búsqueda de un espacio común de fácil acceso para todos los interesados.

Luego de realizar visitas al sector, se evaluaron tres posibles sitios para desarrollar la construcción del vivero, con base a los requerimientos del cultivo y limitaciones de cada espacio, se realizó la tabla 5 para elegir la zona. Se escoge la mejor opción con base en el balance de resultados entre los requerimientos mínimos del cultivo y las limitaciones del espacio; donde, 1 es si cumple y 0 no cumple.

Tabla 5. Evaluación de las posibles opciones para la construcción del vivero.

REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Exposición al sol	1	1	1
Sombra por vegetación	1	1	0
Fácil acceso	1	1	1
Fácil acceso a fuente de agua potable	1	1	0
Fácil acceso a fuente de energía	0	0	0
TOTAL	4	4	2
LIMITACIONES	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Presencia de animales	1	1	1
Área disponible	1	0	0
Cercanía a los límites externos a la huerta	0	0	1
Presencia de construcción	1	0	1
Lejanía a la zona de vigilancia permanente	0	0	1
TOTAL	3	1	4
RESULTADO FINAL	1	3	-2

Al realizar la diferencia entre las opciones de construcción que se presentaron, el resultado ganador lo obtuvo la opción 2. Para contextualizar mejor las opciones evaluadas, se realizó el plano de La Huerta el Edén, junto con toda la distribución interna de la zona, separadas por colores, ver figura 8.

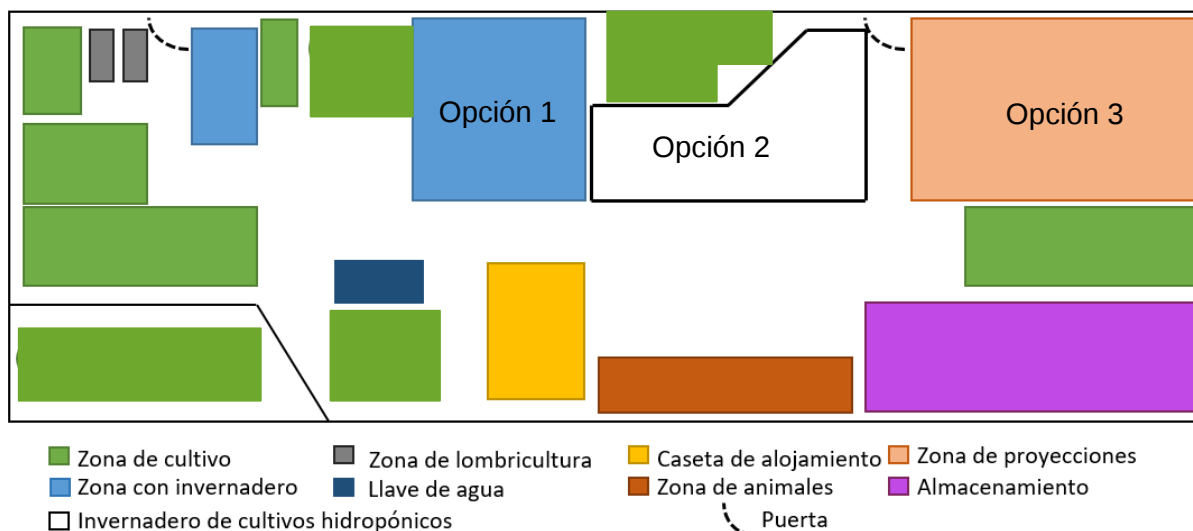


Figura 8. Plano La Huerta el Edén del barrio Puertas del Sol I en el Distrito de Aguablanca. El recuadro externo representa la cerca en malla metálica que encierra la huerta. La huerta limita con una cancha de fútbol, dos terrenos valdíos, y una calle pavimentada.

9.1.2. Diseño y construcción del vivero

Una vez seleccionado el vivero, se procedió a realizar las medidas del área donde se realizó la construcción, junto con la distribución interna del espacio (con los sistemas hidropónicos), en la figura 9 se aprecian las medidas del espacio, donde se obtuvo un área disponible de 21,82 m². Además, la elección de materiales de construcción del vivero se basó en los siguientes parámetros:

- Iluminación

Por lo general, las plantas que se implementan en estos tipos de cultivos requieren aproximadamente de 5 a 6 horas diarias de exposición a radiación solar plena (KIN, et al., 2005). Por este motivo, se buscó que el techo del vivero fuera de un material translúcido, que permitiera el paso de luz solar y que a la vez fuera impermeable, debido a que la infiltración de aguas lluvias en los sistemas hidropónicos alterarían la concentración y la composición de la solución nutritiva. Finalmente, se decidió utilizar

plástico para vivero de calibre 7 con un ancho de 6 m obtenido de Ferreplásticos SAS en la ciudad de Cali.

- Ventilación

Para permitir el flujo de aire dentro del vivero y evitar que se formaran gradientes de transferencia de calor al interior, se utilizó polisombra azul al 33% (este material es altamente poroso) para el cubrimiento lateral de la estructura.

- Protección contra la intrusión de animales terrestres

La granja El Edén cuenta con la presencia permanente de diferentes animales, como perros, gatos, patos, conejos, gallinas, gallos, chivos, entre otros; algunos de estos animales circulan libremente dentro de la granja. Para evitar la posible intromisión de animales terrestres en el vivero hidropónico se instalaron estibas de madera para formar una barrera desde el suelo hasta 1 m de altura alrededor del vivero, con el fin de evitar que los animales pudieran romper la polisombra para ingresar al vivero.

- Firmeza y resistencia

Un vivero debe contar con un sistema de soporte, que sea capaz de resistir las condiciones climáticas y el peso de los materiales de construcción. Teniendo en cuenta las propiedades de resistencia, el costo, la disponibilidad local, y la familiaridad de la comunidad con el manejo del material, se decidió utilizar guadua seca. También, se elaboró una base de cemento-gadua de 40 cm de profundidad con relación a la superficie del terreno para darle mayor estabilidad a las columnas. Para sostener el plástico que va en el techo se implementaron guaduas ubicadas de manera horizontal sobre la parte superior de la estructura con 2,5 m. de separación entre ellas. Para dar soporte a las zonas centrales del vivero, se utilizaron varetas de madera abeto de 2,0 x 0,04 x 0,02 m. separadas por 50 cm entre sí.

- Fuente de agua

Para el fertirriego de las plantas se utilizó agua potable proveniente del acueducto de la ciudad de Cali. El agua potable se utilizó para preparar la solución nutritiva y abastecer los reservorios de los sistemas NFT.

- Fuente de energía

El lugar elegido no contaba con energía, lo que llevo a que se utilizara temporalmente una extensión eléctrica desde la sede de la Junta de Acción Comunal hasta el vivero. Luego, se realizó la instalación de un panel solar y las baterías para el almacenamiento de energía.

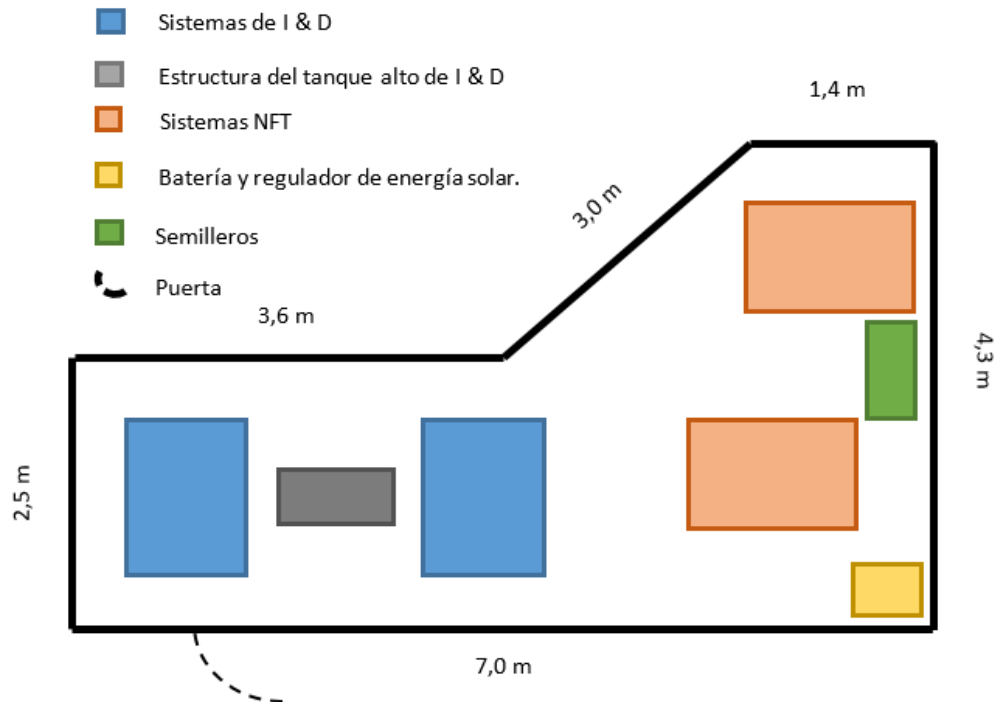


Figura 9. Plano del vivero con la distribución interna de los sistemas hidropónicos.

El costo total de construcción del vivero fue de \$ 3'829.900.

9.1.3. Diseño y construcción de los sistemas hidropónicos

Para el diseño de los sistemas hidropónicos, se hicieron cálculos de distribución de espacio según las dimensiones horizontales en el espacio disponible para la construcción del vivero. Para determinar la altura máxima de los sistemas hidropónicos se decidió no sobrepasar la altura promedio (1,60 m) de las personas de la comunidad involucradas en el proyecto para facilitar el acceso a las plantas sin requerir la ayuda de escaleras. Como se mencionó en la metodología, se escogieron los sistemas NFT e I&D y se construyeron con las especificaciones mencionadas.

En la figura 10 se muestran los planos de la estructura, las vigas de soporte y el canal de cultivo para el sistema de Inundación y Drenaje y en la figura 11, los planos del sistema de Técnica de Película Nutritiva.

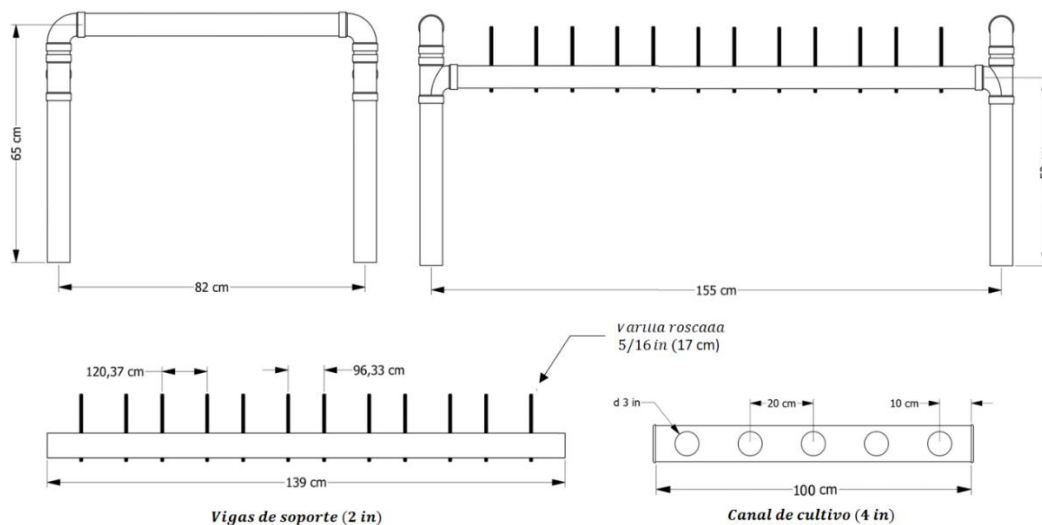


Figura 10. Planos de la estructura, las vigas de soporte y el canal de cultivo para el sistema de Inundación y Drenaje. Fuente: (Rosero, 2019)

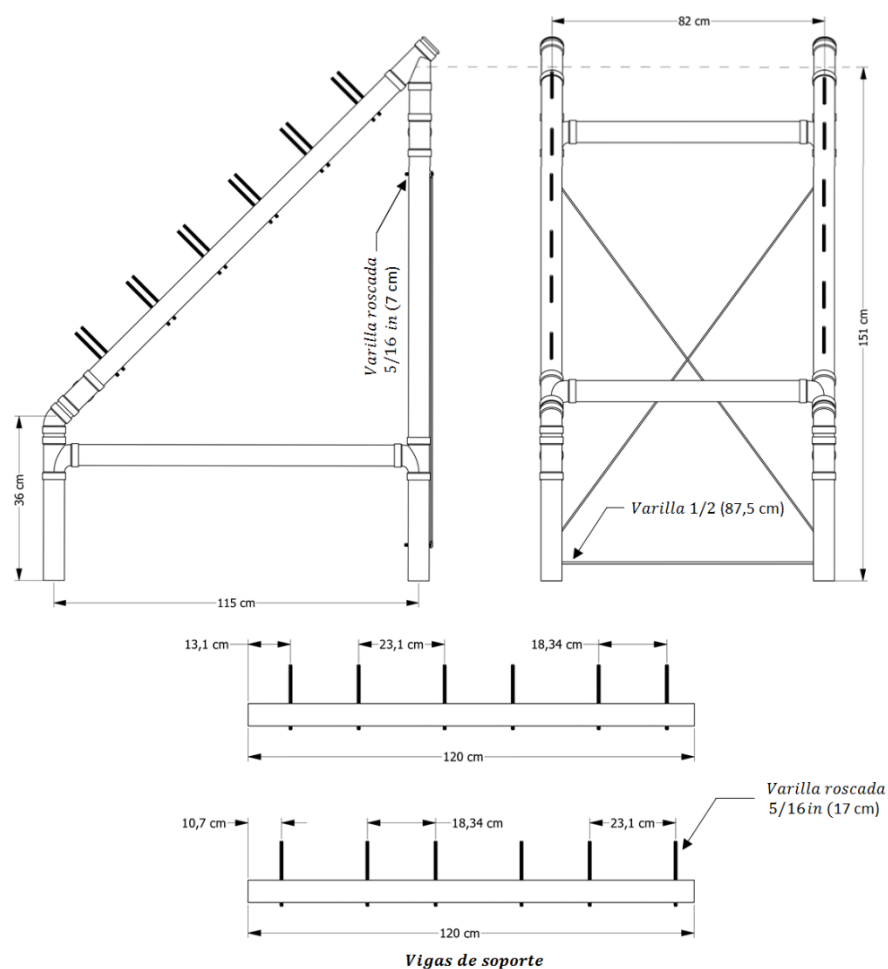


Figura 11. Planos del sistema NFT con las vigas de soporte (diagonales). Fuente: (Rosero, 2019)

Los canales de producción de la lechuga romana debían tener menos unidades productivas por canal; esto se debe a que la separación entre plántulas para cada especie es diferente por el crecimiento de las raíces. En el caso de la lechuga romana la separación sugerida es de 15 cm entre ellas, mientras que para la Espinaca es de 10 cm, las medidas entre plantas se basaron en el crecimiento horizontal de cada una de las especies, se tomaron medidas del producto final y se llegó a un promedio de 12 cm para la Lechuga Romana y 8 cm para la Espinaca, con un margen adicional del 20%. Por esto, se diseñaron dos canales diferentes, uno con cinco orificios para que linealmente se sembraran cuatro plantas de Lechuga, y otro canal con cinco orificios para la Espinaca.

9.1.4 Sistema de Inundación y drenaje

Este sistema funciona bajo una metodología similar a la de Wortman (2015); donde se inundaba la raíz de las plantas hasta la mitad y luego se drenaba, permitiendo que la raíz se oxigene. De esta manera, se planteó realizar este ciclo tres veces al día, cada ciclo cuenta con 4 horas de inundación y con 4 horas de drenado; el primer ciclo arranca a las 6 A.M., el segundo a las 2:00 P.M. y el ultimo a las 10:00 P.M. Para cumplir con esta especificación se diseñó el sistema con la funcionalidad de 2 tanques de almacenamiento. Como se mencionó anteriormente, en la huerta comunitaria no se cuenta con un sistema de energía eléctrica permanente, lo cual limita la automatización de la operación del sistema de inundación y drenaje. Como solución alterna, se instaló una bomba sumergible en el tanque recolector del drenado del sistema (i.e., el tanque ubicado en la parte inferior del sistema de cultivo); en las mañanas se encendía manualmente la bomba y se transporta toda la solución nutritiva hasta el tanque superior, que se encuentra a más de 1m de altura de los canales, este proceso toma de 20 a 30 minutos, implicando un bajo consumo energético.

Una vez teniendo la solución nutritiva en el tanque superior, se procedía a iniciar el primer ciclo de inundación. Para ello se abría manualmente una llave de paso, que permitía que la solución pasara del tanque a los canales de producción, este proceso ocurría por gravedad y la velocidad de llenado en los canales dependía de la presión interna de la solución dentro del tanque superior. El proceso de inundación del sistema de cultivo tomaba entre 5 y 10 minutos. Luego, la solución nutritiva pasaba por la manguera de desagüe, la cual contaba con un tapón (el cual evita que salga por completo el líquido y ayuda a mantener el nivel de solución en los canales) y con un accesorio de goteo, se realizó la calibración para garantizar que realizara el drenaje de la solución en un lapso de tiempo moderado. De esta manera los canales permanecían inundados hasta la mitad en todo momento. El drenaje de la otra mitad del volumen de solución en los canales (63,4L) se tardaba en promedio 4 horas.

Para la construcción de las bases de este sistema, se utilizaron los tubos de 3" y accesorios como codos, sifones, uniones y tees de PVC. Para el soporte de los canales en la estructura, se utilizó varilla roscada de 5/16" con longitud de 25 cm, tal material da más firmeza para que los canales no se muevan. Con los mismos materiales se construyó la estructura que soportara a los tanques superiores de almacenamiento de solución nutritiva. En la figura 12, se expresan las dimensiones de la estructura y la distribución de los sistemas, para el caso de I&D se dejarán los sistemas juntos, debido a que se utilizara solo una estructura que contenga los dos tanques de almacenamiento superior.

Adicionalmente se construyó la estructura de soporte en forma de cama para sostener los canales de cultivo, en la figura 12 y 13 se puede observar las dimensiones de la base y los accesorios necesarios para el desarrollo.

El costo de construcción de cada sistema I&D fue de \$484.500.

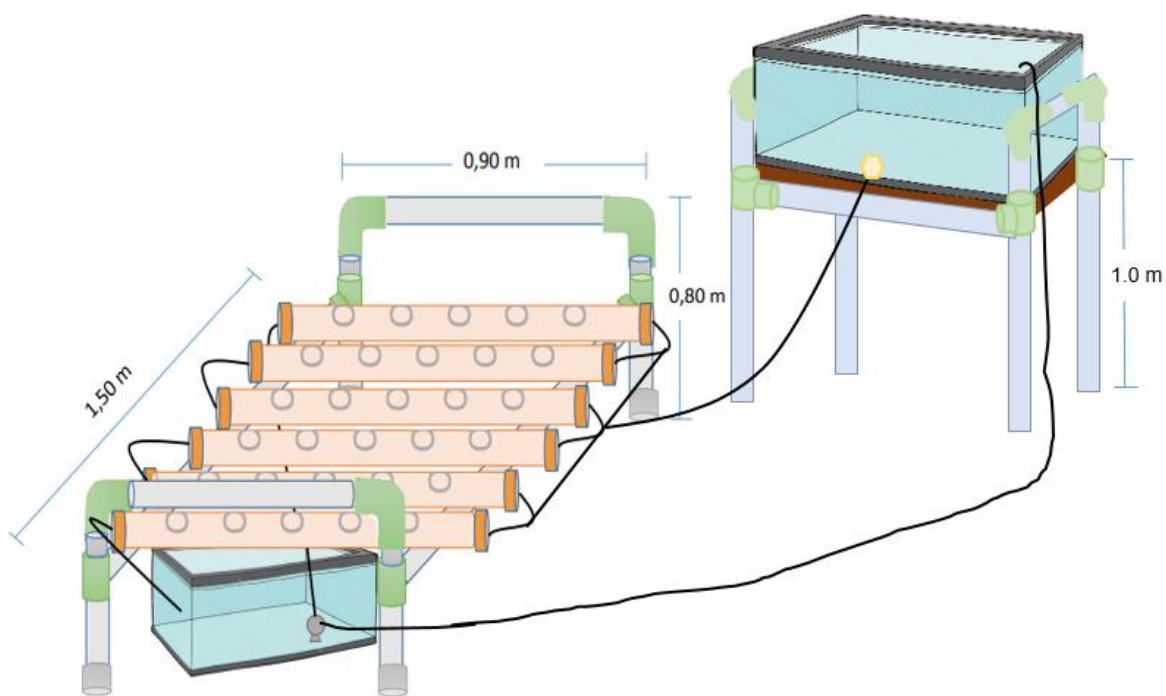


Figura 12. Estructura del sistema Inundación y drenaje (tipo cama) con las conexiones y canales de 1 m de longitud.

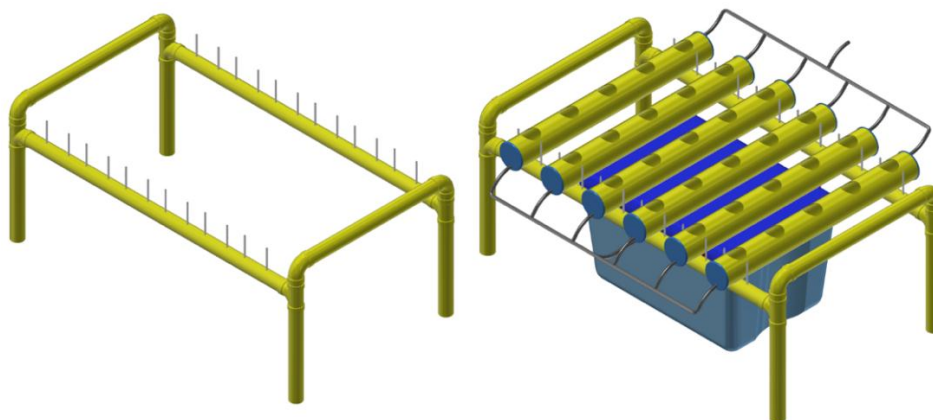


Figura 13. Planos en 3D del sistema de Inundación y drenaje.

9.1.5. Sistema NFT

El sistema NFT, se basa en generar una película delgada que se encuentra en contacto directo con la raíz de la planta, para este sistema se requiere que la solución nutritiva esté en constante recirculación, evitando que los macro y micro nutrientes se precipiten, además de que se requiere de una ligera inclinación entre los canales para que la gravedad haga efecto y el requerimiento energético de la bomba de recirculación sea menor.

Con base en lo anterior, se hizo la construcción de las estructuras que sostienen los canales. El levantamiento de las estructuras requirió de tubos de PVC de 3" y accesorios como codos, sifones, uniones y tees. Para el soporte de los canales en la estructura, se utilizó varilla roscada de 5/16" con una longitud de 25 cm; de esta forma se aseguró de que los canales permanecieran siempre firmes.

Las varillas instaladas en la base del sistema cuentan con una inclinación del 2% y se encuentran organizadas en forma de zigzag (figura 14). De esta manera se garantizó que el flujo de líquido de alimentación impulsado por la bomba desde el tanque en la parte inferior del sistema hasta el canal más alto se desplazara hacia los canales subsecuentes por efecto de la gravedad. La oxigenación de la solución de alimentación ocurre por difusión natural desde el ambiente hacia el líquido en movimiento dentro de los canales de crecimiento.

En el Anexo 3, se registra la lista de materiales que se utilizaron, con sus respectivas cantidades, para la construcción de los cuatro sistemas hidropónicos.

Teniendo presentes estas condiciones, se procedió a realizar la construcción de la base de los canales, implementando tubos de PVC y accesorios de 3", ver las figuras 14 y 15. Los dos cultivos tienen las mismas medidas para la base de los sistemas. El costo de construcción de cada sistema NFT fue \$431.900.

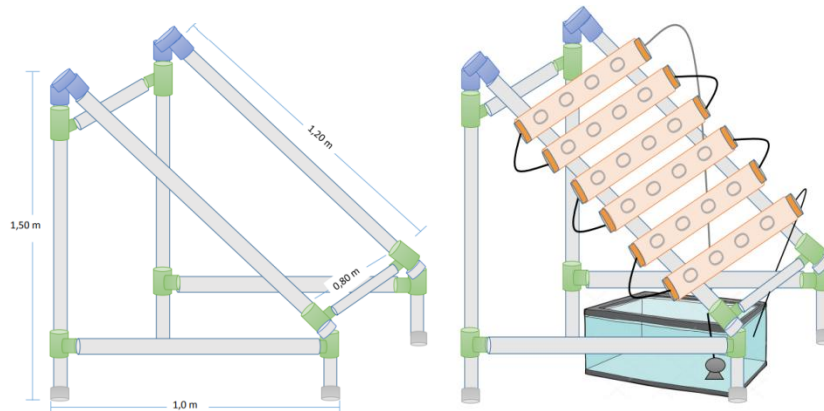


Figura 14. Estructura del sistema NFT y la estructura del sistema NFT con las conexiones y canales de 1 m de longitud.

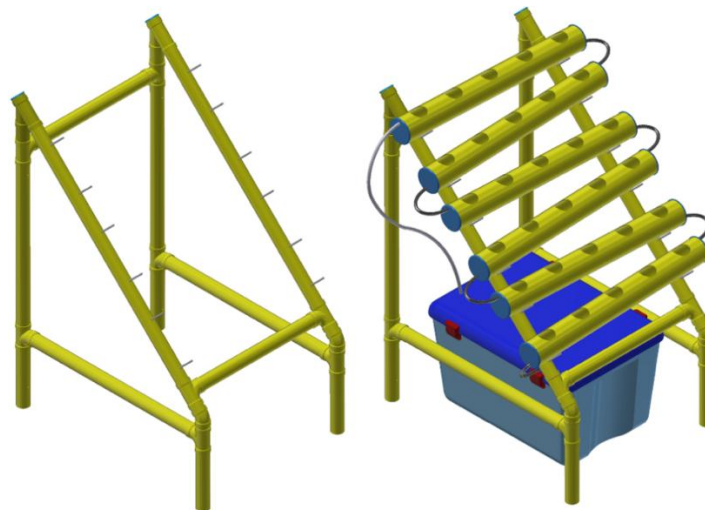


Figura 15. Planos en 3D del sistema NFT. Fuente: (Rosero, 2019)

Para el cultivo de Lechuga se usó una densidad de siembra de 24 plantas por sistema y para la espinaca 30 plantas por sistema. El sistema se basa en la figura 14 que cuenta con el sistema de NFT de Lechuga romana armado completamente.

9.2. Solución nutritiva de bajo costo para el desarrollo de cultivos en sistemas hidropónicos

9.2.1. Solución Nutritiva

La suplementación de nutrientes en un sistema de cultivo hidropónico debe ajustarse a las necesidades específicas de las plantas. Es importante mantener un balance tanto en la proporción de nutrientes (particularmente N, P, y K) como en las condiciones fisicoquímicas y termodinámicas de la solución nutritiva puesto que cambios abruptos de pH y/o temperatura pueden desencadenar procesos indeseados como la precipitación, co-precipitación, formación de complejos, competencia y antagonismo que reducen la biodisponibilidad de los nutrientes y pueden afectar drásticamente el desarrollo de las plantas (Sambo, et al., 2019).

Debido a esto, es necesario no solo preparar la solución nutritiva de acuerdo a las necesidades específicas del cultivo, sino también hacer un monitoreo periódico de los parámetros de pH, CE, y temperatura de la solución recirculada para tomar acciones correctivas a tiempo y evitar problemas de deficiencia de nutrientes, toxicidad o salinidad (García, Leal & Gonzalez, 2007). Adicionalmente, existen riesgos microbiológicos que pueden afectar el crecimiento de los cultivos como la proliferación de algas unicelulares, y la contaminación con fitopatógenos. En cuanto al control de algas, la estrategia más sencilla es impedir el paso de luz hacia el interior del reservorio o los canales de recirculación. En relación a los microorganismos fitopatógenos, Van Os (2009) considera que debe realizarse un tratamiento antes de aplicar la solución nutritiva al sistema, él recomienda implementar tratamientos térmicos y radiación UV.

La solución nutritiva se puede preparar a partir de fertilizantes sintéticos, o mediante la conversión biológica de material orgánico en formas solubles de los nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-), las cuales son disponibles para la nutrición vegetal. Debido al alto costo de fertilizantes químicos, y a la preferencia de la comunidad por los métodos orgánicos, se optó por implementar el método de vermicompost que consiste en el abono elaborado mediante la descomposición de la materia orgánica realizada por la lombriz roja californiana, esta presenta una mayor reproducción, por lo que hay mejores condiciones de manejo en cautiverio (Urrutia, 2011). En esencia, la solución nutritiva se obtiene del lixiviado producido por las lombrices en la tierra negra (abono Orgánico), generando así un compuesto acuoso de color negro marrón.

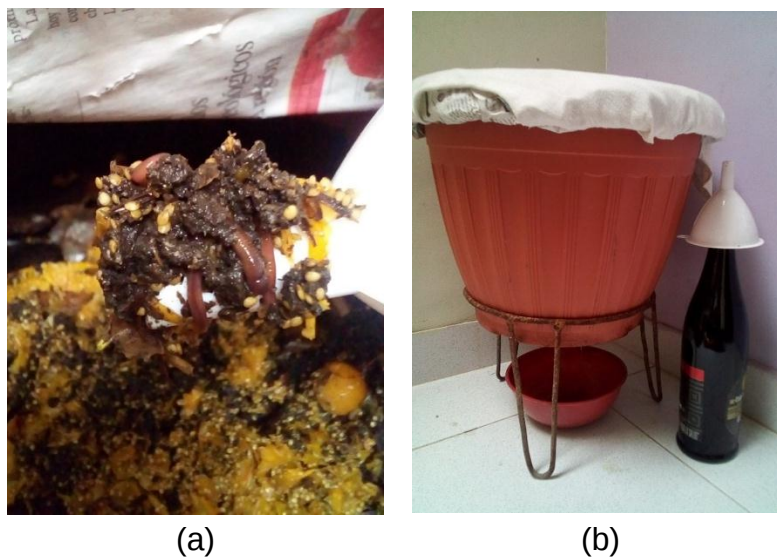


Figura 16. La fotografía (a) son las Lombrices Californianas alimentándose de residuos orgánicos. La fotografía (b) es el sistema diseñado para la obtención del lixiviado de lombriz.

Las lombrices tienen una dieta específica lo que permite que la solución mantenga su composición nutricional (ver figura 16), por ello son alimentadas con residuos orgánicos generados comúnmente en los hogares caleños, en la tabla 6 se tiene una lista de los residuos proporcionados a las lombrices junto con el componente nutricional que aporta para la generación de la solución nutritiva.

Tabla 6. Residuos orgánicos destinados para la alimentación de las Lombrices Californianas. Fuente: (Rojas & Flórez, 2018).

Nutrientes		Fuente
Macronutrientes	Nitrógeno (N)	Cáscara de papaya
	Fósforo (P)	Cáscara de papaya
	Potasio (K)	Cáscara del mango
Micronutrientes	Hierro (Fe)	Cáscara de tomate
	Azufre (S)	Cáscara de tomate
	Magnesio (Mg)	Cáscara de papaya
	Calcio (Ca)	Cáscara de huevo
	Sodio (Na)	Cáscara de tomate
	Zinc (Zn)	Cáscara del zapallo
	Boro (B)	Cáscara de tomate

En el mes de abril, se llevaron dos muestras de la solución nutritiva a la Universidad Santiago de Cali para medir la conductividad eléctrica (σ) (ver figura 17), una era muestra guardada y la otra era una muestra fresca. La primera obtuvo una σ de 3,06 mS/cm y la segunda, 0,94 mS/cm. Los valores determinan que a medida que se guarda la muestra su σ aumenta lo cual sugiere que durante el proceso de almacenamiento continúa la formación de iones inorgánicos, probablemente mediados por actividad microbiana puesto que la muestra no se sometió a ningún tratamiento de inactivación microbiológica; seguidamente se realizó un análisis de la composición específica del lixiviado.



Figura 17. Medición de conductividad eléctrica

Por medio de la empresa ANALISIS AMBIENTAL S.A.S, se realizaron los análisis analíticos de los principales macro y micro nutrientes contenidos en la muestra para determinar su factibilidad como solución nutritiva para las lechugas hidropónicas. Los métodos implementados y los resultados obtenidos se expresan en la tabla 7.

Tabla 7. Resultado de micro y macro nutrientes del lixiviado de lombriz.

Análisis	Método	Resultado	Unidades
Coliformes fecales (Termotolerantes)	SM9221E	240.00	NMP/100 mL
Nitrógeno amoniacal (Amoniac)	SM 4500 – NH ₃ B,C	<1.00	mg N-NH ₃ /L
Nitrógeno total Kjeldahl	SM 4500 – Norg B, 4500 – NH ₃ B,C	9.31	mg/L
Nitritos	SM4500NO ₂ – B	<0.015	mgN – NO ₂ /L
Nitratos	DIN 38405 D9 – 2	30.81	mgN – NO ₃ /L
Potasio	SM3111B	9130.00	mg/L
Fosforo	SM4500P – BC	2.32	mg/L
Calcio	SM3111B	121.36	mg/L
Hierro	SM3111B	0.36	mg/L
Magnesio	SM3111B	27.21	mg/L

Los resultados que se obtuvieron indican que la solución presenta una alta concentración de potasio, lo cual es atribuible a la adición constante de la cáscara de tomate para la alimentación de las lombrices. Los tomates tienen requerimientos relativamente altos de potasio en comparación con el nitrógeno, debido a que el potasio mantiene el equilibrio iónico y el estatus hídrico dentro de la planta, necesario para la síntesis de pigmentos, sobre todo licopeno (Penelo, 2019).

Respecto a los otros macronutrientes, los resultados del análisis no fueron alentadores. De acuerdo a Sela (2020), para las soluciones hidropónicas se recomienda una concentración total de al menos 100 ppm de nitrógeno y 30 ppm de fósforo (Tabla 8). Esta deficiencia surge de la poca adición de residuos orgánicos para la alimentación de las lombrices que contuvieran más nitrógeno. Las cantidades de mineral de K, Ca, Fe y Mg estaban entre los rangos comunes definidos por Sela (2020), por lo que se aceptó su contenido nutricional.

En este sentido, se concluye que el lixiviado de vermicompost es una fuente apropiada de micronutrientes, pero se debe suplementar con fuentes alternas de nitrógeno y fósforo biodisponibles para el crecimiento de las plantas en sistemas hidropónicos. Según Ganduglia et al. (2009), en la extracción de aceite a base de mezcla de semillas como la soja, el algodón, el maní, el girasol y el cártamo, se obtiene un producto residual que se puede utilizar como biofertilizante, debido a que es rico en nitrógeno, potasio y fósforo.

Tabla 8. Rangos Comunes de Nutrientes en la Solución Hidropónica. Fuente: (Sela, 2020).

Elemento	Formas Iónicas Absorbidas por la planta	Rango Común (ppm = mg/L)
Nitrógeno	Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+)	100 - 250
Fósforo	H_2PO_4^- , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-}	30 - 50
Potasio	K^+	100 - 300
Calcio	Ca^{2+}	80 - 140
Magnesio	Mg^{2+}	30 - 70
Azufre	SO_4^{2-}	50 - 120
Hierro	Fe^{2+} , Fe^{3+}	1,0 – 3,0

La densidad de plantas en el caso del cultivo de lechuga en el sistema NFT, es de 22 a 24 plantas por metro cuadrado. La solución nutritiva para la lechuga debe de estar en un rango de conductividad de 1.5 a 2.5 ms/cm (Samaniego, 2016) y un pH de 5.5 a 6 (Gilsanz, 2007), siendo el consumo de solución aproximadamente de 0,25 L/planta (Muriel, 2019).

Posteriormente, se realizaron pruebas de dilución del lombricompost en agua proveniente del sistema de alcantarillado del sector, con diferentes concentraciones con plántulas de lechuga romana por 28 días, y de esta forma determinar cuál es más óptimo para el crecimiento de los cultivos. Las pruebas se realizaron por duplicado y las concentraciones evaluadas fueron: 1A y 1B del 10%, 2A y 2B del 15%, 3A y 3B del 25% y 4A y 4B del 35%, los resultados obtenidos se registraron en la tabla 9; donde las variables de respuesta fueron la longitud de la planta desde el tronco hasta la hoja más larga (longitud de la plántula), la longitud desde el tronco y la raíz más extensa de la planta (longitud de raíz) y la apariencia de las hojas, este último se evaluó de la siguiente manera: 3 representa que las plántulas estaban con buen estado físico, buena coloración, sin presencia de daños o decoloraciones en las hojas; 2 representando que las hojas presentan alguna coloración opaca y tienen algún daño presente y 1 significa que las hojas tiene un daño pronunciado en las hojas y difícilmente se puedan recuperar o que murieron (referencia de evaluación, figura 7). En la figura 20, se observan las muestras sometidas al análisis de las diferentes concentraciones de lixiviado de lombriz en Lechuga Romana y en la figura 21, se observa el resultado de la concentración 3 evidenciando el estado de las plántulas.

Con base en los resultados de la tabla de datos obtenidos (ver Anexo 8), se realizaron los gráficos comparativos de cada concentración en el tiempo determinado, ver figura 18 y 19.

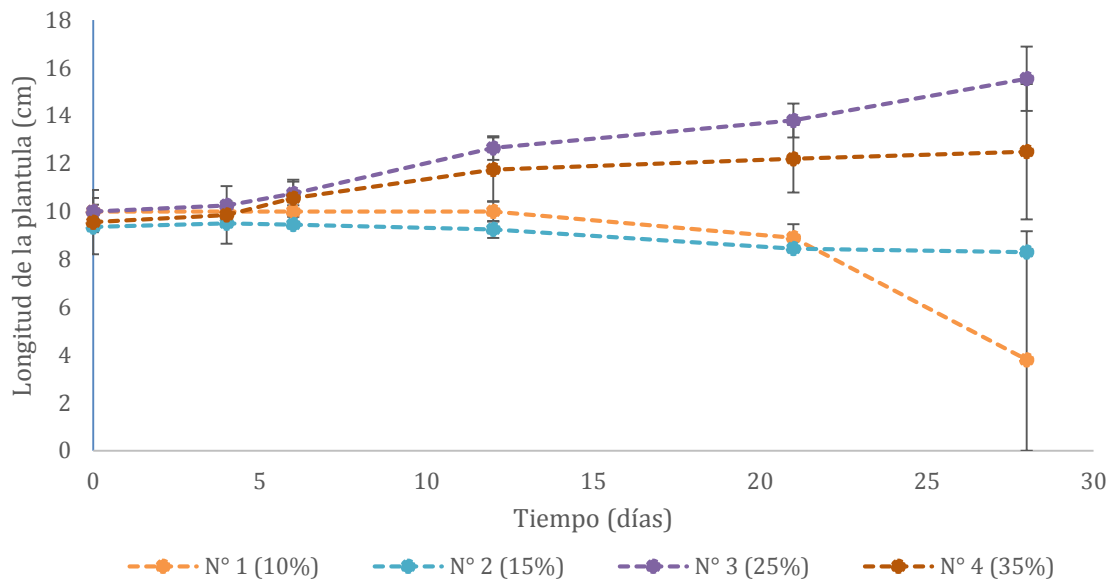


Figura 18. Seguimiento de la longitud de la planta en 28 días de prueba con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.

A partir de la figura 18, se observa que la longitud de las plántulas para la mayoría de los casos aumentó; la concentración que presentó mejores resultados y con una desviación estándar no superior a 1,3 cm fueron las muestras sometidas a la concentración N° 3. Sin embargo, en la concentración N° 1 se observa una decadencia en el crecimiento, es decir que una de las plántulas luego del día 21 se secó por completo.

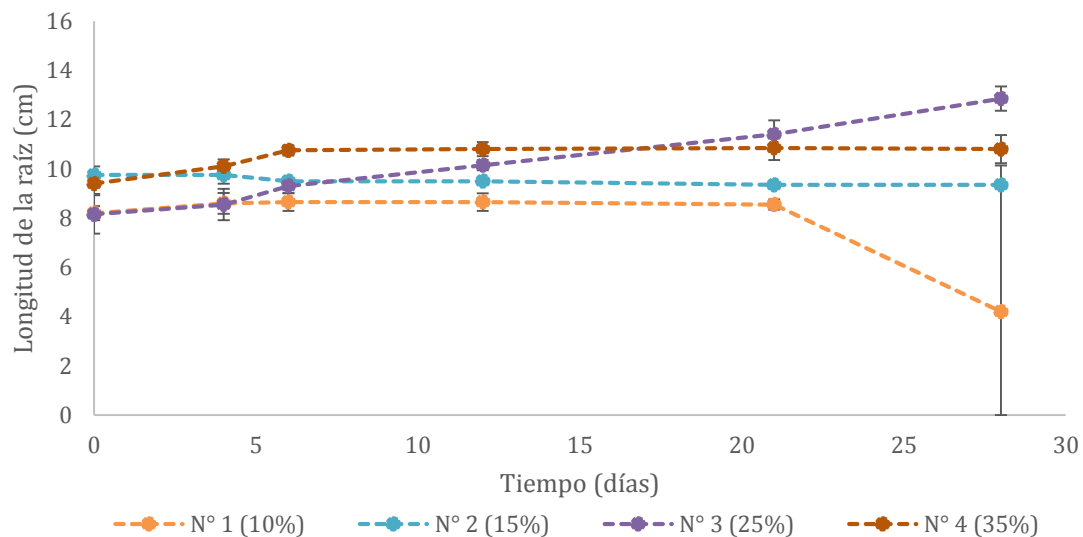


Figura 19. Seguimiento de la longitud de la raíz en 28 días de prueba con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.

Para la longitud de la raíz, se organizaron las raíces de forma en que se pudieran medir y se tuvieron resultados semejantes entre las soluciones con tendencias casi constantes. Las muestras de la solución N° 3 tuvo un comportamiento creciente con el pasar de los días.

La concentración N° 3 fue la única que presento un estado constante en el aspecto de hojas, la coloración fue verdosa, característico de la Lechuga Romana, sin ningún tipo de daño; mientras que, las otras concentraciones luego del día 4 iniciaron a decaer y presentar coloraciones amarillas y manchas blancas, sin contar a la concentración N° 4 que lo inicio a presentar a partir del día 6.



Figura 20. Pruebas de crecimiento y aprovechamiento del lixiviado de lombriz en diferentes concentraciones de Lechuga Romana.

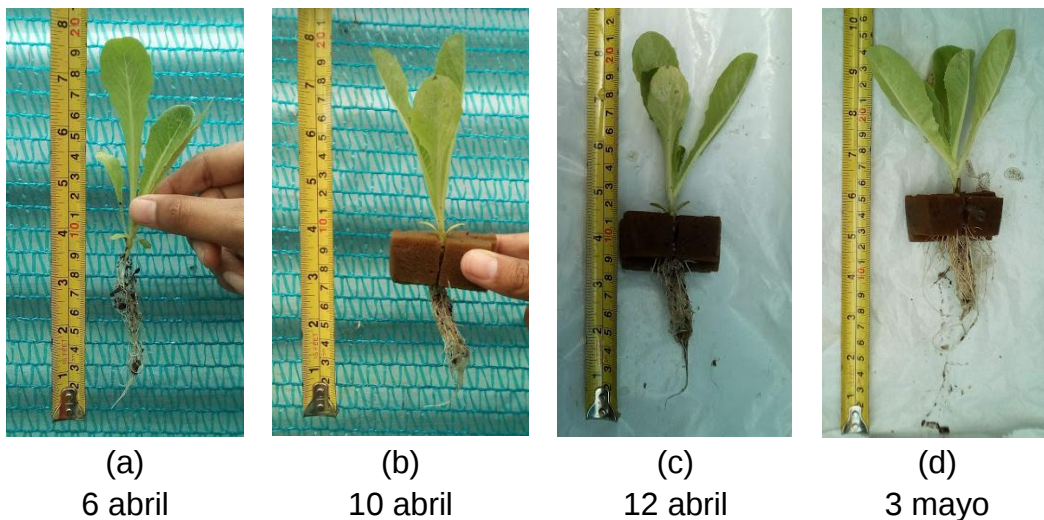


Figura 21. Seguimiento del crecimiento de la lechuga romana con la solución nutritiva a base de lixiviado de lombriz del 25%.

Una vez analizados los resultados, se decidió trabajar con la solución de 25% (p/v %), se realizaron las respectivas conversiones para el escalamiento de la producción (los cuatro sistemas hidropónicos), en este proceso se concluyó que el volumen necesario era de 6 L por sistema (para las 24 plantas) y el cultivo de lombriz y el sistema de extracción era muy pequeño para cumplir con la demanda, lo que generó que se recurriera al uso de una solución comercial, llamada FERT PLANT de la empresa ANASAC COLOMBIA LTDA. En la tabla 9, se expresa la composición del producto.

Tabla 9. Composición de la solución FERT PLANT.

Componente	Cantidad	Unidades
Nitrógeno total (N)	60,0	g/L
Nitrógeno Uréico (N)	60,0	g/L
Fósforo Asimilable (P2O5)	45,0	g/L
Potasio Soluble en Agua (K2O)	30,0	g/L
Boro (B)	1,3	g/L
Cobre (Cu)	1,6	g/L
Hierro (Fe)	1,3	g/L
Manganeso (Mn)	1,7	g/L
Zinc (Zn)	2,4	g/L

El líquido concentrado FERT PLANT, se usó bajo las recomendaciones establecidas por el fabricante, entonces, se realizaba una dilución de 5mL por 1L de agua. Como ya se tenían aprobados los análisis químicos, se le realizaron los mismos análisis que al lixiviado de lombriz, los resultados se obtenidos por el laboratorio ANALISIS AMBIENTAL S.A.S se registraron en la tabla 10.

Tabla 10. Análisis químico de la dilución fresca de FERT PLANT.

Análisis	Método	Resultado	Unidades
Coliformes fecales (Termotolerantes)	SM9221E	<2	NMP/100 mL
Nitrógeno amoniacal (Amoniac)	SM 4500 – NH3 B,C	8,6	mg N-NH3/L
Nitrógeno total Kjeldahl	SM 4500 – Norg B, 4500 – NH3 B,C	79,66	mg N/L
Nitritos	SM4500NO2 – B	0,02	mgN – NO2/L
Nitratos	DIN 38405 D9 – 2	<0,5	mgN – NO3/L
Potasio	SM3111B	24,38	mg/L
Fosforo	SM4500P – BC	19,67	mg/L
Calcio	SM3111B	12,18	mg/L
Hierro	SM3111B	0.43	mg/L
Magnesio	SM3111B	3,27	mg/L

La caracterización de los efluentes residuales de los sistemas hidropónicos, se explica en la sección 8.3.

9.3. Monitoreo y evaluación de los sistemas hidropónicos

Una vez instalados los equipos de hidroponía, se realizaron pruebas en los dos sistemas; sin embargo, en la práctica se descartó la toma de datos del sistema de I&D porque estos requieren vigilancia para su funcionamiento y al tener limitaciones de horario de acceso al huerto, no fue posible mantener un control adecuado de estos sistemas. Por ejemplo, el sistema alcanzaba un nivel muy superior al que requeríamos y generó una sobre exposición de agua en las plantulas; además, uno de los tanques superiores presentó fugas y la bomba sumergible de ese sistema comenzó a tener fallas por deficiencia del nivel del agua. Debido al cronograma establecido en el proyecto, se decidió continuar la experimentación solamente con los sistemas NFT ya que su funcionamiento era posible con una vigilancia menor, las anotaciones para el mejoramiento de los sistemas de I&D se presentan en la sección de recomendaciones.

Se realizó la germinación directa de Lechuga Romana y Espinaca en los sistemas NFT, donde el 20% de la población vegetativa germinó en un lapso de 15 días, figura 22. Se dedujo que la baja germinación de las semillas se debió al contacto inadecuado de agua con la espuma agrícola, algunas de las muestras no recibían la suficiente cantidad de agua, debido a que los sistemas fueron diseñados para que solo la raíz tuviera contacto con el agua, dejando un espacio entre el recipiente que lo contenía y la corriente de agua; además, los canales tienen una ligera inclinación, generando que las semillas de la parte inferior tuvieran suficiente humedad mientras que las de la parte superior no alcanzaran si quiera a tener contacto directo con el líquido. Al realizar la comparación de tiempo y cantidad de población vegetativa germinada, se decidió recurrir a una germinación en semilleros a base de una mezcla de sustratos.

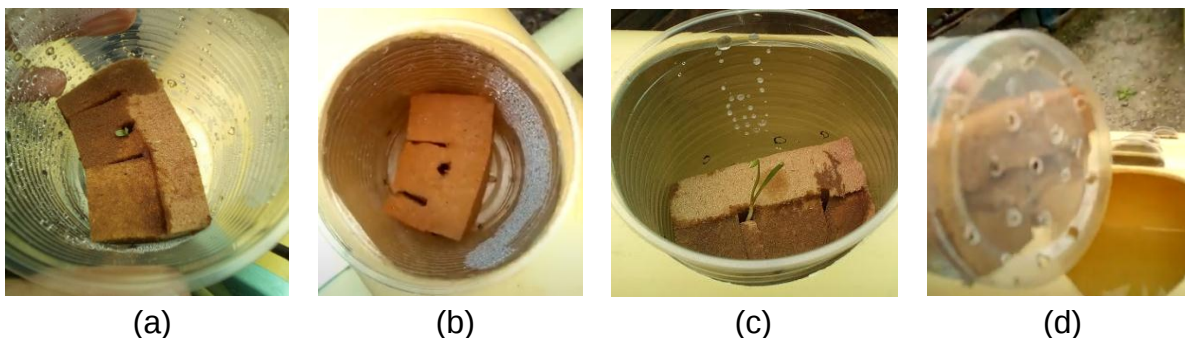


Figura 22. Germinación directa en los sistemas hidropónicos en el Distrito de Aguablanca. (a) germinación de la Lechuga Romana, (b) exceso de agua en la semilla (sin germinación), (c) germinación de Espinaca y (d) espuma agrícola son contacto con el agua (sin germinación).

Con la germinación en semillero, se obtuvieron las plántulas necesarias para realizar las pruebas de concentración de lixiviado de lombriz como solución nutritiva, mencionadas anteriormente, y dar inicio al crecimiento *in-situ* de las plantas en los sistemas hidropónicos, ver figura 23.



Figura 23. Germinación en semilleros y en recipientes reciclados en el Distrito de Aguablanca.



(a)



(b)

Figura 24. (a) Primeros cultivos de Lechuga Romana en el sistema de I&D, (b) cultivos de Lechuga Romana en el sistema NFT.

Para realizar el traspaso de las plántulas (figura 24) a los sistemas hidropónicos, se realizó un proceso de relajación de las raíces en el cual consistía en pasar la raíz con los sustratos adheridos en agua y con ayuda de movimientos leves, ir desprendiendo la mezcla de sustratos de la raíz. Una vez limpia y desestresada la raíz, se procedió a traspasar las plántulas de Lechuga Romana y Espinaca a los sistemas.

Durante su producción, hubo algunos problemas que no permitieron el crecimiento adecuado de las plantas de Lechuga Romana y Espinaca. Principalmente, el clima afectó la producción debido a que, a las altas temperaturas que se registraban en ciertas horas del día. Puesto que los cultivos hidropónicos son más susceptibles a variaciones térmicas que los cultivos en suelo. También es posible que se presentara proliferación de fitopatogenos mesofilicos en la solución nutritiva. Todo esto contribuyó a que las plantas se enfermaran teniendo signos de resequedad en las hojas y descomposición de la raíz (ver figura 25 y 26).

Presumiblemente, *Rhizoctonia solani* es el hongo responsable del decaimiento de las especies plantadas ya que las temperaturas altas (25°C a 32°C) favorecen su proliferación (ver figura 27). Según Lawson (2020), es un hongo muy virulento en plantas jóvenes y tiernas (característica de las sembradas en el proyecto que se enfermaron); además, este hongo tiende a vivir cerca de la superficie del sustrato y prefiere la humedad alta, por lo que se pueden apreciar redes de color marrón en las

zonas afectadas de la planta (Lawson, 2020), tal como se observa en las figuras 25 y 26. Por consiguiente, se generó un atraso en el desarrollo del proyecto.



(a)



(b)

Figura 25. Daños presentes en las plántulas trasplantadas. (a) hojas con quemaduras seberas y (b) pudrición de la raíz por exceso de agua.



(a)



(b)



(c)

Figura 26. Problemas y enfermedades que presentaron las plantas. (a) déficits de nutrientes y daños en las hojas de la planta, (b) descomposición de las raíces y (c) muerte de la espinaca por exceso de agua.

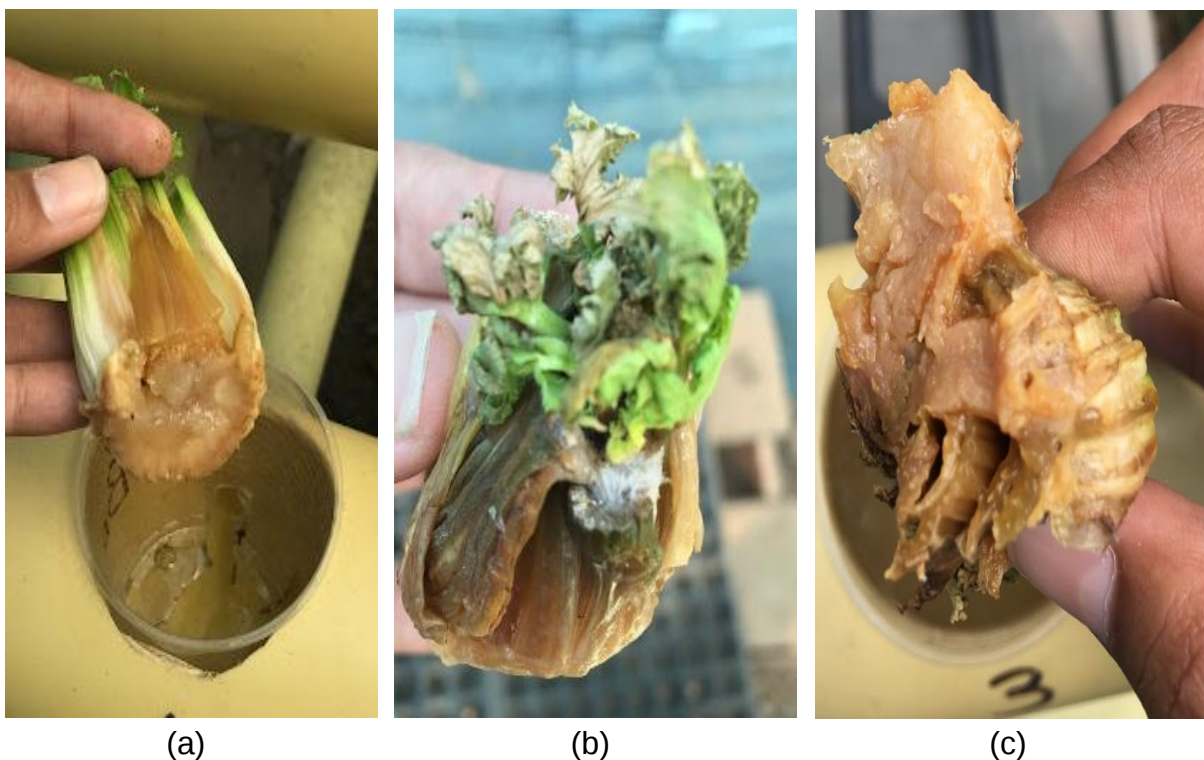


Figura 27. Presencia de hongo *Rhizoctonia solani* en Apio, (a) Inicio de la descomposición, (b) Descomposición parcial y (c) Descomposición completa.

Las plántulas de espinaca no soportaron las condiciones de variabilidad térmica en el vivero, por tal motivo, se decidió reemplazar esta planta por Apio (*Apium graveolens*), la cual presenta mayor adaptabilidad a las condiciones climáticas en Cali. Para acelerar el ciclo de crecimiento de la Lechuga Romana y el Apio, se decidió utilizar la técnica de propagación por esquejes. Este método consiste en cortar el tallo de una planta adulta e introducirlo en el sustrato para que crezca una nueva. Se registraron en los Anexos 9 y 10 el crecimiento de las especies, en las figuras 27 y 28 se observa el crecimiento de las plántulas que resistieron satisfactoriamente las condiciones a las que fueron expuestas.

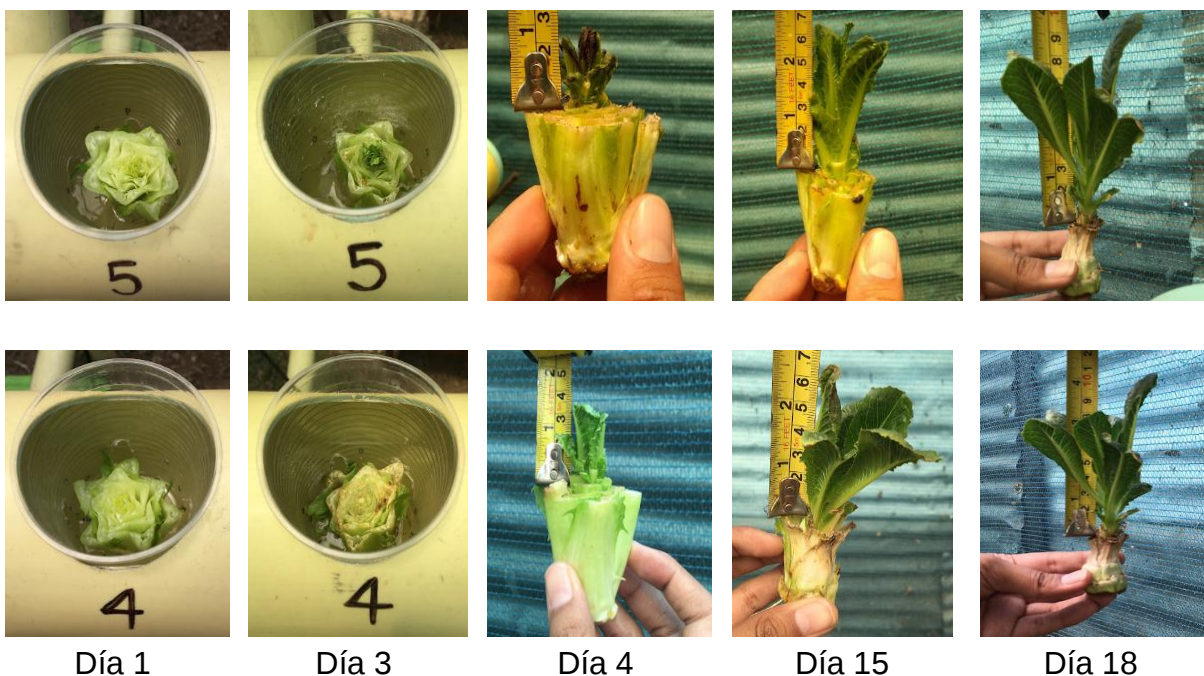


Figura 28. Crecimiento de la Lechuga Romana producida en el sistema NFT en un lapso de 18 días.

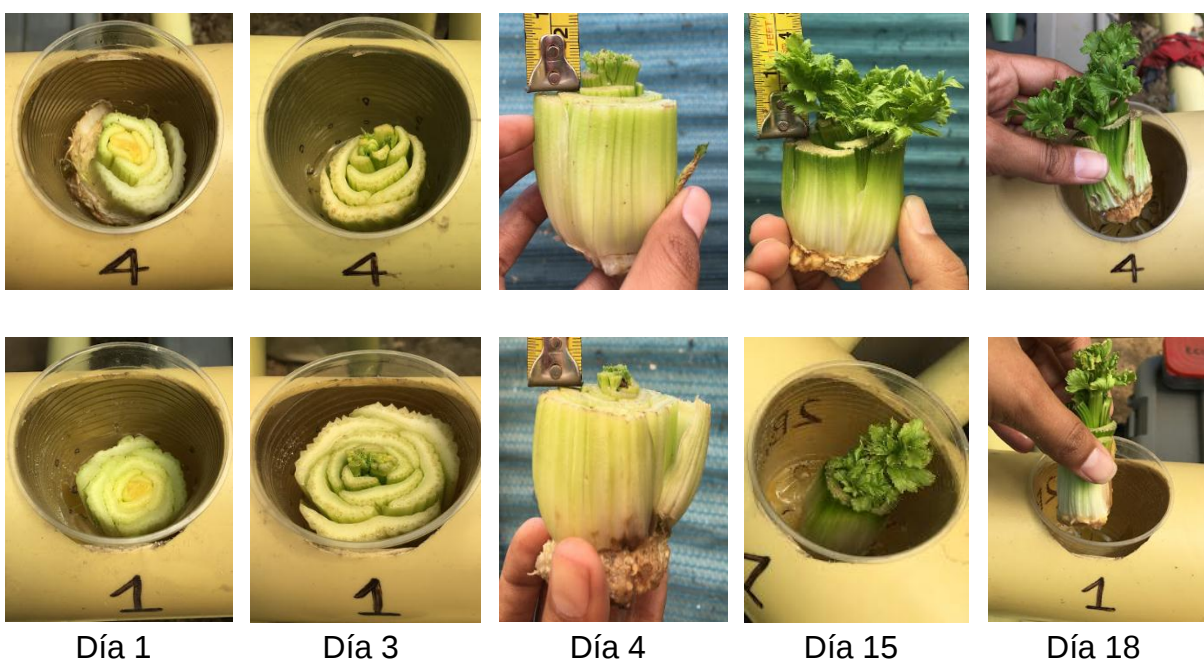


Figura 29. Crecimiento del Apio producido en el sistema NFT en un lapso de 18 días.

El registro de pH, CE, consumo de la solución nutritiva y temperatura del tanque de cada uno de los sistemas NFT, se adicionaron en la tabla 11 para el cultivo de Lechuga Romana y en la tabla 12 para el Apio. Cabe aclarar que a pesar de que el crecimiento

de las plantas fue por 18 días, solo se lograron registrar 4 datos, debido a fallas técnicas de los sensores instalados directamente en los sistemas; como alternativa, se usaron sensores portátiles y por las condiciones de seguridad del sector, los sensores no permanecían en la huerta El Eden.

Tabla 11. Resultado de los datos tomados de la solución nutritiva del tanque de almacenamiento de la Lechuga Romana.

Solución nutritiva - Lechuga romana						
Fecha	pH	CE (µs/cm)	Nivel de SN consumida (cm)	SN consumida (L)	T Solución (°C)	
15-ago-19	2,65	1500	4,0	4,2	32	
16-ago-19	7,15	209	3,0	3,2	34	
27-ago-19	7,33	237	4,0	4,2	32	
30-ago-19	7,04	215	4,5	4,7	33	

Tabla 12. Resultado de los datos tomados de la solución nutritiva del tanque de almacenamiento del Apio.

Solución nutritiva - Apio						
Fecha	pH	CE (µs/cm)	Nivel de SN consumida (cm)	SN consumida (L)	T Solución (°C)	
15-ago-19	2,6	1738	2,0	3,6	31	
16-ago-19	6,95	192	1,0	1,8	30	
27-ago-19	7,47	241	1,0	1,8	29	
30-ago-19	7,38	220	2,0	3,6	32	

En las tablas 11 y 12, se observa que las soluciones iniciales de concentración de la solución nutritiva se encontraban bajo las recomendaciones del fabricante, basándose en la proporción 1L de agua/5 mL solución de FERT PLANT, pero esta disolución es específica para plantas cultivadas en tierra, para el siguiente día se realizó un escalamiento más aceptable para los esquejes de las plantas, basándose en mantener un rango de pH 5.5 a 6 (Gilsanz, 2007).

El efluente obtenido al final del tiempo de la toma de datos (es decir la solución nutritiva que quedó en el tanque recolector del día 18), se utilizó para sacar muestras que fueron llevadas al laboratorio ANALISIS AMBIENTAL S.A.S para realizarles el respectivo análisis químico; los resultados se aprecian en las tablas 13 y 14.

Se observa que la lechuga como para el apio, la concentración final de N total, K, P y Fe disueltos era menores a la concentración de la solución inicial (ver tabla 13 y 14), lo cual es esperado puesto que las plantas sustraen los nutrientes de la solución y los utilizan para sus procesos metabólicos; pero estos datos no garantizan que las plantas absorbieran estos componentes, puesto que se realizó fue un análisis de los efluentes

y no de la nutrición de las plantas como tal. Estos resultados, junto con las mediciones de CE evidencian la importancia de suplementar oportunamente los nutrientes que se van consumiendo durante el crecimiento de las plantas (ver figuras 25 y 26); los nutrientes consumidos en mayor medida fueron N, K y P. Finalmente, las plantas de Lechuga llegaron a su estado de cosecha después de 45 días (ver figura 30), se puede observar que sus hojas crecieron considerablemente, sin embargo, la planta nunca llegó a tener hojas corpulentas (ancho de hoja de 10 cm aproximadamente) y ni con más abundancia debido a que no se hizo una suplementación adecuada de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. Además, las plántulas de Apio en su mayoría, aproximadamente un 75% no lograron sobrevivir a las condiciones y murieron, en la figura 25 se observan el daño que sufrieron. Es posible que el exceso de agua, la falta de aireación de la solución nutritiva, y los picos de alta temperatura ambiental (alrededor de 29 °C entre las 11 am y las 4 pm) pudo haber causado la “sequía fisiológica” en la parte superficial de la planta. Por otro lado, estos mismos factores pudieron causar que la sección de la raíz, se convirtiera en un lugar propicio para la proliferación de hongos (Díaz, 2006).

Tabla 13. Análisis químico y comparación del consumo de nutrientes de la solución nutritiva después de 18 días del sistema NFT de Lechuga Romana.

Análisis	Método	Resultado Inicial	Resultado Final	Consumo	Unidades
Coliformes fecales (Termotolerantes)	SM9221E	<2	33	-	NMP/100 mL
Nitrógeno amoniacal (Amoniaco)	SM 4500 – NH ₃ B,C	8,6	9,01	-0,41	mg N-NH ₃ /L
Nitrógeno total Kjeldahl	SM 4500 – Norg B, 4500 – NH ₃ B,C	79,66	33,48	46,18	mg N/L
Nitritos	SM4500NO ₂ – B	0,02	0,11	-0,09	mgN – NO ₂ /L
Nitratos	DIN 38405 D9 – 2	<0,5	0,79	-	mgN – NO ₃ /L
Potasio	SM3111B	24,38	12,3	12,08	mg/L
Fosforo	SM4500P – BC	19,67	3,77	15,9	mg/L
Calcio	SM3111B	12,18	21,99	-9,81	mg/L
Hierro	SM3111B	0,43	0,01	0,42	mg/L
Magnesio	SM3111B	3,27	5,5	-2,23	mg/L

Tabla 14. Análisis químico y comparación del consumo de nutrientes de la solución nutritiva después de 18 días del sistema NFT de Apio.

Análisis	Método	Resultado Inicial	Resultado Final	Consumo	Unidades
Coliformes fecales (Termotolerantes)	SM9221E	<2	33	-	NMP/100 mL
Nitrógeno amoniacal (Amoniaco)	SM 4500 – NH3 B,C	8,6	11,85	-3,25	mg N-NH3/L
Nitrógeno total Kjeldahl	SM 4500 – Norg B, 4500 – NH3 B,C	79,66	37,98	41,68	mg N/L
Nitritos	SM4500NO2 – B	0,02	0,06	-0,04	mgN – NO2/L
Nitratos	DIN 38405 D9 – 2	<0,5	<0,5	-	mgN – NO3/L
Potasio	SM3111B	24,38	14,83	9,55	mg/L
Fosforo	SM4500P – BC	19,67	8,17	11,5	mg/L
Calcio	SM3111B	12,18	16,28	-4,1	mg/L
Hierro	SM3111B	0,43	0,16	0,27	mg/L
Magnesio	SM3111B	3,27	4,25	-0,98	mg/L



Figura 30. Lechuga Romana luego de 45 días de la propagación por tallo.

9.4. Educación para la apropiación de tecnologías de agricultura urbana

En el Distrito de Aguablanca, el programa Huertas pal' Barrio se ha dedicado durante más de cinco años al desarrollo de una educación ambiental y el cuidado de la naturaleza, generado una mayor conciencia por parte de la comunidad involucrada en las labores de las huertas urbanas. Asimismo, en los últimos años se han producido nuevas metodologías para la conservación del medio ambiente ligado con la tecnología de la hidroponía. Es importante destacar que la gran mayoría de personas involucradas en el programa Huertas pal' Barrio, y también los miembros de la comunidad que apoyaron el proyecto de hidroponía, son mujeres y adultos mayores que han sufrido el flagelo de la violencia en el campo y en algún momento de sus vidas fueron obligados a abandonar sus tierras.

El desplazamiento del campo a la ciudad es un fenómeno importante que ha marcado la historia del país. Debido a la migración forzada en Colombia, causada por el conflicto armado interno, se ha producido una transformación atípica en la gestión rural del país (Parra D., 2018). El desplazamiento forzado en Colombia ha generado el surgimiento del fenómeno social conocido como “las nuevas ruralidades” en los cuales se desarrollan nuevos marcos de interpretación de las dinámicas ciudad-ruralidad. Parra (2018) define que la cultura del campo es un efecto revalorizado por los encuentros entre lo humano y el ecosistema. El problema de pobreza urbana conlleva también a un problema de inseguridad alimentaria ya que a diferencia de las personas que viven en el campo, los habitantes de las zonas urbanas deben necesariamente comprar la mayor parte de los víveres que consumen y el alto precio de los alimentos limita su acceso por parte de las comunidades con bajo poder adquisitivo (Gutiérrez, 2013).

Los campesinos desplazados al llegar a la ciudad traen consigo sus diferentes conocimientos de la producción de alimentos. Muchos de ellos buscan asentarse en las áreas periurbanas de las ciudades (de bajo estrato socioeconómico), donde el costo de vida es menor. Al mismo tiempo, esta ubicación resulta ventajosa para la práctica de la agricultura urbana, y según el estudio de Parra (2018), es en las fronteras espaciales de lo rural y lo urbano donde justamente hay suelo agrícola para el cultivo de determinadas especies. Con ello, se establecen diferentes formas de organización y costumbres del campo para la supervivencia en la urbe.

Posiblemente las condiciones del contexto anteriormente descrito influyeron en que la introducción del concepto de hidroponía para la producción local de alimentos con la población vinculada al proyecto fuera asimilada relativamente fácil por medio de los dos talleres realizados dentro de la huerta. El primero fue realizado antes de dar inicio a la construcción del invernadero (febrero 2018), en dicho taller estuvieron nueve

personas y se explicaron los diferentes conceptos del proyecto, además, se mostró cómo se realizaría el invernadero por medio de unos planos en 3D. En el transcurso de la investigación, cada vez que se asistía a la huerta estaban nuevas personas, lo que generaba definir reiteradamente el concepto de hidroponía y el objetivo del proyecto. El segundo taller se realizó un año después (marzo 2019) en la etapa de siembra de las especies y consistió en la explicación del funcionamiento de los sistemas, con el propósito de que tuvieran la autonomía de manejarlos. En este taller, hubo trece personas incluyendo madres cabeza de hogar y las personas habitantes de la huerta. Se considera importante mencionar a tres personas que fueron frecuentes en el desarrollo del proyecto por su interés, por lo que su acompañamiento fue de suma importancia: la señora Sixta, el señor Jhon Edwar Escobar y el encargado de la Fundación Jose Ney Hurtado.

Se reitera que al ser un lugar comunitario, frecuentaban personas nuevas, lo que permitía a los pobladores familiarizarse con la tecnología de la hidroponía y comunicarse directamente y en persona con los encargados del vivero para hacer preguntas, observaciones y sugerencias. La visita de los investigadores internacionales Gary Stutte y Eric McLamore generó gran motivación dentro de la comunidad e interés en la ejecución participativa del proyecto. En esta visita se realizó un video donde se pueden apreciar imágenes de este evento: “Conflicts of Contamination in Colombia” <https://vimeo.com/289950426>

No obstante, es importante reconocer que, aunque la tecnología hidropónica produjo mucho interés entre la comunidad, particularmente en las etapas tempranas del proyecto, se presentaron varias situaciones que obstaculizaron el proceso de apropiación tecnológica. Específicamente, los problemas locales de violencia entre actores delincuenciales hacen que el acceso y la permanencia en los espacios comunitarios se limite a ciertos horarios seguros. Esto fue particularmente problemático para el funcionamiento de los sistemas hidropónicos, puesto que estos requieren mayor monitoreo y corrección rápida de problemas en comparación con los cultivos en suelo.

Esto conllevó al fracaso de varios de los experimentos y repercutió en la disminución del interés y compromiso en el progreso de la investigación por parte de la comunidad. En este sentido, se considera muy importante estructurar las actividades de apropiación tecnológica en barrios marginales en una escala familiar y no solo dependiendo del espacio comunitario. Es decir, apoyándose en sistemas más pequeños en donde cada familia tenga su propio sistema hidropónico en casa para que el proceso de aprendizaje sea continuo y no se vea tan afectado por las dinámicas de seguridad del sector.

10. CONCLUSIONES

Por medio de materiales de bajo costo, se logró la construcción de cuatro sistemas hidropónicos en una zona vulnerable de Cali: dos con la técnica de película nutritiva y dos con la técnica de inundación y drenaje. Los sistemas de película nutritiva funcionaron de manera adecuada durante el proceso de implementación *in-situ*. Por otro lado, los sistemas de inundación y drenaje presentaron varias fallas durante las pruebas piloto en la huerta, y finalmente se desistió de su uso en la experimentación puesto que las modificaciones necesarias requerían una inversión muy alta de capital y tiempo con el cual no se contaba. Además, se construyó un vivero para la protección de las plantas contra factores externos.

La obtención de una solución nutritiva fue realizada a través de tierra con lombrices californianas que producían el lixiviado como alimento para las plantas. Sin embargo, durante la investigación, la solución nutritiva tuvo que ser remplazada por una comercial debido a la alta demanda de nitrógeno y fosforo para el crecimiento de los cultivos modelo.

Los sistemas hidropónicos de NFT tuvieron un mejor funcionamiento en comparación con los de Inundación y Drenaje, debido a que su diseño requiere de menor control y vigilancia. El sistema NFT no presentó fallas técnicas con las bombas, fugas, entre otros detalles.

La introducción del concepto de hidroponía generó una apropiación del conocimiento relevante en la comunidad. Siempre hubo un constante intercambio de saberes de los habitantes, lo que conllevó a comprobar que sí hubo un potencial de interés en adoptar la tecnología con el propósito de una fuente de sustento; sin embargo, el tema de seguridad requiere que los proyectos futuros con sistemas hidropónicos incorporen la implementación a nivel de hogares individuales y no dependan solamente del acceso a espacios comunitarios.

11. RECOMENDACIONES

- La ejecución de los sistemas hidropónicos debe realizarse a escala familiar para garantizar la participación en los hogares y se pueda generar un mayor compromiso entre la comunidad. Cuando hay más interacción, se promueve la agricultura urbana y el aprovechamiento de la tecnología.
- Se recomienda continuar con la obtención de una solución nutritiva a base del lixiviado del vermicompost, en el caso particular de la dieta establecida, se recomienda implementar más la dosis de residuos orgánicos ricos en compuestos nitrogenados, como la cascara de papaya (De Lourdes Vargas, 2017).
- Se recomienda asegurar un acompañamiento constante a la comunidad en el uso de los sistemas hidropónicos para evitar inconvenientes en el desarrollo por toma de decisiones y lograr la apropiación de la tecnología con capacitaciones más continuas yendo de lo teórico a lo práctico.
- Se sugiere el monitoreo riguroso de pH, CE, y temperatura para saber en qué momento se deben tomar acciones correctivas como la suplementación de nutrientes en el reservorio.
- En la instalación del sistema I&D se recomienda colocar una canaleta en el drenaje (debajo de las mangueras negras salientes de los canales) para que exista más caudal, así como la unión de una tubería para la misma función (en vez de una manguera) y el sellado de accesorios con más solidez.
- Se debe considerar la calibración periódica de los sensores de pH y CE para garantizar la precisión de las mediciones.
- La situación de inseguridad y violencia del sector fue un desafío para la introducción de la tecnología de cultivos hidropónicos, puesto que estos sistemas requieren monitoreo continuo y la ejecución rápida de acciones correctivas, lo cual no era posible, se recomienda realizar programas más didácticos para el funcionamiento de los sistemas en este sector de la ciudad.
- Se recomienda ejecutar un proyecto en donde se vincule la producción de alimentos de agricultura urbana con su respectiva comercialización, realizando capacitaciones de empaque y distribución para el sustento de la comunidad, y los talleres de nutrición para incentivar el consumo de frutas, verduras y hortalizas en la dieta de los habitantes de dichos conglomerados.

12. AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos son infinitos. Iniciamos por agradecer a Dios, ser supremo que permitió que viviéramos esta grata experiencia.

Agradecemos a nuestros padres que nos acompañaron durante todo el proceso con su constante aliento y manteniendo la fe en la ejecución del proyecto. Gracias a nuestros hermanos que con su ingenuidad nos alentaban a cumplir los logros.

Agradecemos a nuestra directora Diana Vanegas que con su sencillez y aprecio por la investigación, nos cautivó a trabajar con ella en un proyecto diferente a lo habituado en la Escuela de Ingeniería de Alimentos: la labor social desde la Academia. Siempre recordaremos su generosidad, disposición y vocación de enseñanza. ¡Gracias, profesora!

Agradecemos a la Universidad Santiago de Cali por el apoyo y la financiación del proyecto con el liderazgo de los docentes Jorge Antonio Silva y Andrea Pérez.

Agradecemos al Grupo de Investigación Interdisciplinario de Innovación Biotecnológica y Transformación Eco-social (BioNovo) que en compañía del profesor José Isidro García brindaron un constante apoyo, en especial a nuestros compañeros Ingrid Muriel y William Rosero, estudiantes de los programas Ingeniería Agrícola e Ingeniería Mecánica, respectivamente, que estuvieron presente en todo el desarrollo del proyecto. A la Escuela de Ingeniería Mecánica que prestaron su taller para la construcción de los sistemas.

Agradecemos a toda la comunidad de la huerta El Edén en el barrio Puertas de Sol I por su amabilidad cada vez que llegábamos. Especial gracias a José Ney Pulido y John Edward Escobar por su disposición para trabajar con nosotras y creer en el proyecto.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería de Alimentos por compartir todo su conocimiento, el hecho de aprender a diario de sus experiencias nos daba gran orgullo. De igual manera, gracias a todos nuestros compañeros que hicieron de la Universidad del Valle un lugar ameno y digno de recordar siempre por las experiencias vividas.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Administración Central del Municipio de Santiago de Cali. (2015). *Datos Abiertos de Barrios y Corregimientos en Santiago de Cali. División Territorial del Municipio*. Obtenido de http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/107923/datos_abiertos_de_barrios_corregimientos_y_veredas_en_el_municipio_de_santiago_de_cali/
- Alcaldía de Santiago de Cali. (11 de Mayo de 2004). *Empresa Social del Estado (ESE) Oriente - Comunas 13, 14, 15, 21*. Obtenido de http://www.cali.gov.co/salud/publicaciones/3408/empresa_social_del_estado_ese_oriente_comunas_13_14_15_21/
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (Junio de 2012). *World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 revision*. (E. W. paper, Ed.) Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global_perspectives/world_ag_2030_50_2012_rev.pdf
- Alonso, J., Arcos, M., Solano, J., Vera, R., & Gallego, A. (2007). *Una mirada descriptiva a las comunas de Cali*. Cali: Universidad Icesi – Cienf.
- Altieri, M. A. (1999). The greening of the "barrios": Urban agriculture for food security in Cuba. *Agriculture and Human Values*, 16, 131-140.
- Arias, E., Reynolds, S., & Sanchez, M. (2003). El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Volumen 169 de Estudio FAO producción y protección vegetal. Food & Agriculture Org.
- ASTON, T.-A. (2018). Experimentamos con la ciencia: 100 experimentos interesantes y prácticos sobre la vida diaria. En *Experimento 12* (pág. 224). Narcea Ediciones.
- Beltrano, J. &. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- Bishop, D. F. (2000). Spatial data infrastructures for cities in developing countries: lessons from the Bangkok experience. *Cities* 17.
- Bradley, P., & Marulanda, C. (2001). Simplified hydroponics to reduce global hunger. *Acta Horticulturae*, 289 - 296, 554.
- Chen, L. H. (1994). Growth of the world's megalopolises. *Mega City Growth and the Future*, United Nations University Press. Tokyo.
- Cherrett, I. P. (2012). *La agricultura urbana y su contribución a la seguridad alimentaria. Sistematización del Proyecto Piloto AUP en Honduras*. Honduras: FAO.
- Cohen, B. (2006). Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in Society*.
- COLCIENCIAS. (2010). Apropriación Social de la Ciencia, la Tecnología y Innovación ASCTI. En J. Restrepo, D. Y. Rodríguez, C. Fonseca, J. Cano, P. Nieto, C. J. Cuervo, . . . O. J. Maldonado, *ESTRATEGIA NACIONAL DE APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN* (pág. 22). ISBN: 978-958-8290-50-8.
- Comercializadora Hydro Environment S.A. (s.f.). *HYDRO ENVIRONMENT h-e.mx*. Obtenido de ¿Qué es el foamy agrícola?: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=420#:~:text=El%20foamy%20agr%C3%ADcola%20es%20una,las%20ra%C3%ADces%20se%20desarrollen%20adecuadamente.
- DANE. (2015). *Índices de precios al consumidor*. Obtenido de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol_ipc_ene15.pdf

- DANE. (2016). *Boletín Técnico: índices de precios al consumidor*. Obtenido de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/bol_ipc_mar16.pdf
- DANE. (2019). ¿Qué es ser pobre para el Dane en Colombia? *Portafolio*, <https://www.portafolio.co/economia/que-es-ser-pobre-para-el-dane-en-colombia-529203>.
- DANE. (2019). *Resultados Censo Nacional de Población*. Cali: Gobierno de Colombia.
- De Lourdes Vargas, M. F. (18 de 12 de 2017). Using of fruits peel: nutritional analysis and bioactive compounds. 26, N° 2, 2019. México: CIENCIA ergo-sum . doi: <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). *COLOMBIA - Estratificación Socioeconómica de Santiago de Cali*. Cali.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali. (2011).
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali. (2011). *Pobreza y exclusión en Cali: un análisis de los hogares y la población de sectores populares y clase medias bajas a través del SIISAS en 2009*. Obtenido de [http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/Inclusion%20social/Pobreza%20y%20exclusio n%20social%20en%20Cali.pdf](http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/Inclusion%20social/Pobreza%20y%20exclusio%20n%20social%20en%20Cali.pdf)
- Díaz O., J. (2006). *Riego por gravedad*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Diehl, J. A., Oviatt, K., Chandra, A. J., & Kaur, H. (2019). Household Food Consumption Patterns and Food Security among Low-Income Migrant Urban Farmersin Delhi, Jakarta, and Quito. *Sustainability*, 2-15.
- Diehl, J. O. (2019). Household Food Consumption Patterns and Food Security among Low-Income Migrant Urban Farmersin Delhi, Jakarta, and Quito. *SUSTAINABILITY*, 1-18.
- Egal, F., Valstar, A., & Meershoek, S. (2001). *FAO, Rome*. Obtenido de Urban Agriuculture, Household Food Security and Nutrition in Southern Africa.
- El País - Colprensa. (13 de Marzo de 2013). En casi medio país hay inseguridad alimentaria: Viceministro de salud. (E. País, Ed.) Colombia. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/colombia/en-casi-medio-pais-hay-inseguridad-alimentaria-viceministro-de-salud.html>
- El Tiempo. (7 de Mayo de 2020). El ranking de las ciudades más caras para vivir en Colombia.
- Encuesta Nacional de Situación Nutricional de Colombia . (2015).
- Escobar, A. (2013). *Usos potenciales del humos (abono organico lixiviado y solido) en la empresa fertilombriz*. Obtenido de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/936/1/USOS_POTENCIALE S_HUMUS_ABONO_ORGANICO_LIXIVIADO_SOLIDO_EMPRESA_FERTILOMBRIZ .pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/936/1/USOS_POTENCIALE_S_HUMUS_ABONO_ORGANICO_LIXIVIADO_SOLIDO_EMPRESA_FERTILOMBRIZ.pdf)
- FAO. (2014). *Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe*. ONU, Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3696s.pdf>
- Ganduglia, F. L. (2009). *Manual de Biocombustibles*. ARPEL.
- Garland, J., Levine, L., Yorio, N., Adams, J., & Cook, K. (2000). Graywater processing in recirculating hydroponic systems: phytotoxicity, surfactant degradation, and bacterial dynamics. *Water Research*, 34:12 , 3075-3086.

- Gutiérrez. (2013). *Sistema para la elaboración de huertas urbanas como autoabastecimiento alimenticio en los hogares vulnerables*. Cali: Universidad ICESI, Facultad de Ingeniería - Diseño Industrial.
- Hurtado, J. C. (14 de Noviembre de 2016). *La Voz del Oriente, las voz diferente*. (Y. Dembele Kundumí, Editor) Obtenido de ¿Cómo nació la Fundación Nacederos? entre amigos, tiene el placer de entrevistar - Alexander Gómez:
<http://lavozdeloriente.blogspot.com/2016/11/como-nacio-la-fundacion-nacederos-la.html>
- Instituto Nacional de Salud. (2019). *INS revela qué tan bien o mal nutridos están los colombianos*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/INS-revela-qu%C3%A9-tan-bien-o-mal-nutridos-est%C3%A1n-los-colombianos.aspx>
- Jensen, M. (1999). Hydroponics Worldwide. *Acta Horticultrae*, 719-730.
- KIN, H. W. (2005). Photosynthesis of Lettuce Exposed to Different Short Term Light Qualities. *Environ. Control Biol*(43 (2)), 113-119.
- Langlais, C., & Ryckewaert. (2001). *Guía de los cultivos protegidos de hortalizas en zona tropical húmeda*. Editions Quae.
- Lawson, L. (13 de Mayo de 2020). *Promix*. Obtenido de Premier Horticulture:
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/pudricion-de-la-raiz-por-rhizoctonia-los-sintomas-y-como-controlarlos/>
- Lee, S., & Lee, J. (2015). Benefical bacteria and fungi in hidroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206 - 215.
- Llanos, P. (2001). *Soluciones Nutritivas para Cultivos Hidropónicos*. Obtenido de Dr Calderon Labs: <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>
- Loaiza, W., & Carvajal, Y. (2014). Índice de segregación espacial y socioeconómico (ises) en las comunas de Santiago de Cali. *Cuadernos de Urbanismo y Vivienda* .
- Losada, H., Martínez, H., Vieyra, J., Pealing, R., Zavala, R., & Cartés, J. (1998). Urban agriculture in the metropolitan zone of Mexico City: changes over time in urban, suburban and peri-urban areas . *Environment and Urbanization*, 10:2, 37- 54.
- Marín, M. C. (29 de Abril de 2013). *Diseño de Invernaderos: Instrucciones Técnicas*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2.pdf>
- Martínez, C. (15 de 05 de 1999). Lombricultura y abonos orgánicos. *SITUACIÓN ACTUAL DE LA LOMBRICULTURA EN MÉXICO*. Mexico: Universidad Autónoma Chapingo - Colegio de Postgraduados. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=vJ8qAAAAYAAJ&pg=PA36&dq=lombricultura&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi7ssWF27jpAhXvIOAKHZ0XBpgQ6AEILTAB#v=onepage&q=lombricultura&f=false>
- Maxwell, D. (2003). The importance of urban agriculture to food and nutrition. In: Annotated Bibliography on Urban Agriculture and ETC. Leusden: The Netherlands.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (29 de Noviembre de 2017). *En Cali se hace lanzamiento de ENSIN 2015*. Obtenido de <https://minsalud.gov.co/Paginas/En-Cali-se-hace-lanzamiento-de-ENSIN-2015.aspx>

- Monroy, K. M. (2016). Agricultura Urbana como Alternativa de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Familias de la UPZ Marruecos, Localidad Rafael Uribe Uribe, Bogota. Bogota, Colombia: PONTIFICA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20398/MonroyQuevedoKatherinMayerli2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muriel, I. V. (2019). *Diseño e implementación participativa de sistemas hidropónicos en espacios confinados y afectados por la contaminación con agroquímicos en El Tiple - Valle del Cauca*. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, EIDENAR - Ingeniería Agrícola.
- Organización de Naciones Unidas. (2014). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población. *Perspectivas de urbanización mundial*, 352.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Wamdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Agricultura urbana en el mundo en desarrollo: una revisión. *Agronomía para el desarrollo sostenible*, 695-720.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Urban agriculture in the developing world: a review. *Adronomy for Sustainable Development*, 33, 695-720.
- Parra D., J. (2018). Migraciones en Colombia (ciudad-campo): Análisis al neoruralismo y las nuevas ruralidades en las afueras de Bogotá. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Peláez, C. M. (2019). *Una mirada a los asentamientos informales de Cali, Análisis de los datos SISBEN III - 2019*. Cali: Universidad del Valle.
- Penelo, L. (16 de Julio de 2019). *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/comer/frutas/20181024/452518270095/alimentos-frutas-tomates-beneficios-propiedades-valor-nutricional.html>
- PESA, P. (Febrero de 2011). *Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos*. Centroamérica.
- Raviv, M., Lieth, J. H., Bar-Tal, A., & Silber, A. (2008). Growing Plants in Soilless Culture: Operational Conclusions. *Soilless Culture Theory and Practice*, 545-571.
- Rojas, A., & Flórez, C. (2018). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Politécnica*. Vol. 15, 28.
- Rosero, W. (2019). *Diseño de un sistema sostenible de producción de alimentos en comunidades vulnerables del Valle del Cauca*. Cali: Universidad del Valle.
- Samaniego, R. M. (2016).
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., . . . Cesco, S. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Sustems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontier in Plant Science*, 10.
- Sela, G. (Febrero de 2020). *Smart Fertilizer Managent*. Obtenido de Soluciones Nutritivas en Hidroponía: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/hydroponic-nutrient-solutions/>
- Smith, V., Tilman, G., & Nekola, J. (1999). *Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems*. Environ Pollut: pp 100, 179– 196.
- Toro, C., & Valenzuela, E. (2014). *Diseño y construcción de un cultivo vertical hidropónico automatizado “cvh-a” en una vivienda del barrio granada*. Armenia: Universidad del Quindío.
- Torres Lima, P., Rodríguez Sánchez, L. M., & García Uriza, B. I. (2000). *Mexico City: the integration of urban agriculture to contain urban sprawl*. doi:3-934068-25-1

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 revision. Highlights (ST/ESA/SER.A/352).
- Universidad del Valle – Escuela de Ingeniería de Alimentos. (s.f.). *Ingeniería de Alimentos: perfil profesional*. Recuperado el 2018, de <http://ingealimentos.univalle.edu.co/ingenieria-de-alimentos/perfil-profesional-y-ocupacional>
- Urrutia, H. (2011). *Fertilizantes*. Obtenido de Lombricompost: <https://fertilizantes.wordpress.com/2011/02/27/lombricompost/>
- Vélez, S. (2005). La guadua, el acero vegetal. En M. Villegas, *Guadua: Arquitectura y Diseño* (págs. 44-45). Villegas Asocidos.
- Wortman, S. (2015). Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Sciential Horticulturae*, 194, 34-42.
- Zaar, M. (2011). Agricultura urbana: algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales de la Universidad de Barcelona*, XVI(944).
- Zezza, A., & Tasciotti, L. (2010). Urban agriculture, poverty, and food security: Emperical evidence from a sample of developing countries. *FoodPolicy*, 35, 265 - 273.

14. ANEXOS

Anexo 1. Evidencia fotográfica de la construcción del vivero en La Huerta El Edén, en el barrio Puertas del Sol I.



Antes de la construcción, se realizó un desabastecimiento de la maleza, nivelación del suelo y eliminación de vegetación cercana que afectara la entrada de luz solar. Además, se hizo un proceso de inmunización en la guadua con ACPM (diésel) y alquitrán. También, se tuvo en cuenta el ángulo de inclinación que deben de tener los

techos de los viveros (30%), para facilitar que las gotas de agua lluvia caigan hacia los lados y no sobre los cultivos (Marín, 2013).

Anexo 2. Registro fotográfico de las (a) adecuaciones del espacio destinado a la construcción del vivero, (b) esterilización de las guaduas, (c) inclinación del techo e (d) instalación de estivas en las paredes del vivero.



Anexo 3. Lista de materiales implementados en la construcción para cada sistema hidropónico.

Material	Unidad	Cantidad requerida			
		Sistema 1 (NFT)	Sistema 2 (NFT)	Sistema 3 (I&D)	Sistema 4 (I&D)
Tubo pvc 3"	Metro	9	9	7	7
Tubo pvc 4"	Metro	6	6	6	6
Codo pvc 90° 3"	Unidad			4	4
Codo pvc 45° 3"	Unidad	2	2		
Sifon pvc 3"	Unidad	2	2		
Unión pvc 3"	Unidad	4	4	4	4
Tee pvc 3"	Unidad	8		8	8
Manguera 1/2"	Metro	4	4	4	4
Abrazadera 1/2"	Unidad	3	3	3	3
Tapón 4"	Unidad	12	12	12	12
Angeo en fibra de vidrio	Metro	2	2	2	2
Tanques	Unidad	1	1	1	1
Bombas	Unidad	1	1	1	1
Adaptador hembra 16 mm x 1/2"	Unidad	14	14	14	14
Acople de rosca y manguera 16mm	Unidad	14	14	14	14
Tuercas	Unidad	24	24	48	48
Arandelas	Unidad	24	24	48	48
Varilla roscada 5/16"	Metro	3	3	3	3
Tubo termoencogible DE 10 mm	Metro	3	3	3	3
Soldadura 1/4 de galón	Unidad			1	
Cinta teflón 3/4 x 50m	Unidad			10	
Cinta aislante	Unidad			6	
Broca 1/2"	Unidad			2	
Sierra copa 3"	Unidad			3	
Flexómetro	Unidad			2	
Bisturí	Unidad			3	
Segueta completa	Unidad			2	
Nivel de aluminio	Unidad			1	
Cinta de enmascarar 2"	Unidad			2	
Cinta transparente 2"	Unidad			2	
Taladro	Unidad			1	
Extensión eléctrica	Unidad			1	
Semillero vertical	Unidad			2	

Anexo 4. Construcción de los sistemas hidropónicos en el Taller de Mecánica de la Universidad del Valle.



Anexo 5. Sistema de inundación y drenaje (I&D).



Anexo 6. Sistemas de inundación y drenaje completo, con los tanques superiores e inferiores.



Anexo 7. Sistema de película nutritiva (NFT).



Anexo 8. Registro de datos de crecimiento de las plantas de Lechuga Romana con diferentes concentraciones de lixiviado de lombricompost.

Tiempo (Días)	Variables de respuestas	N° 1		N° 2		N° 3		N° 4	
		10%		15%		25%		35%	
		A	B	A	B	A	B	A	B
0	Longitud de la plántula (cm)	9,6	10,4	9,2	9,5	10,2	9,8	10,5	8,6
	Longitud de la raíz (cm)	8,0	8,4	9,5	10,0	8,7	7,6	9,7	9,1
	Apariencia de las hojas	3	3	3	3	3	3	3	3
4	Longitud de la plántula (cm)	9,7	10,3	9,4	9,6	10,3	10,2	10,7	9,0
	Longitud de la raíz (cm)	8,3	8,9	9,5	10,0	9,0	8,1	10,3	9,9
	Apariencia de las hojas	2	2	3	2	3	3	3	3
6	Longitud de la plántula (cm)	9,7	10,3	9,4	9,5	11,1	10,4	11,1	10,0
	Longitud de la raíz (cm)	8,4	8,9	9,4	9,6	9,1	9,5	10,9	10,6
	Apariencia de las hojas	2	2	2	2	3	3	3	3
12	Longitud de la plántula (cm)	9,7	10,3	9	9,5	13,0	12,3	12,7	10,8
	Longitud de la raíz (cm)	8,4	8,9	9,4	9,6	10,0	10,3	11,0	10,6
	Apariencia de las hojas	2	1	1	2	3	3	3	2
21	Longitud de la plántula (cm)	8,5	9,3	8,5	8,4	14,3	13,3	13,2	11,2
	Longitud de la raíz (cm)	8,4	8,7	9,4	9,3	11,8	11,0	11,2	10,5
	Apariencia de las hojas	1	1	1	1	3	3	3	1
28	Longitud de la plántula (cm)	7,6	-	8,4	8,2	16,5	14,6	14,5	10,5
	Longitud de la raíz (cm)	8,4	-	9,4	9,3	13,2	12,5	11,2	10,4
	Apariencia de las hojas	1	-	1	1	3	3	3	1

Anexo 9. Registro del crecimiento de los cultivos de Lechuga Romana en el sistema NFT.

Sistema:	NFT - Lechuga romana				
Fecha:	15-ago-19				
Factor:	Altura plantas (cm)				
	Planta				
Tubo	1	2	3	4	5
A	2,0	1,8	1,6	2,1	1,7
B	0,5	1,1	0,0	0,0	1,0
C	1,8	1,6	0,0	1,6	0,8
D					
E					

Sistema:	NFT - Lechuga romana				
Fecha:	16-ago-19				
Factor:	Altura plantas (cm)				
	Planta				
Tubo	1	2	3	4	5
A	3,4	3,0	3,3	3,6	2,9
B	1,1	2,5	0,0	0,1	2,2
C	2,0	1,8	-	3,2	2,0
D					
E					

Sistema:	NFT - Lechuga romana				
Fecha:	27-ago-19				
Factor:	Altura plantas (cm)				
	Planta				
Tubo	1	2	3	4	5
A	6,9	-	6,0	7,0	6,6
B	2,0	10,0	0,5	2,8	9,0
C	2,1	2,0	-	5,9	5,5
D					
E					

Sistema:	NFT - Lechuga romana				
Fecha:	30-ago-19				
Factor:	Altura plantas (cm)				
	Planta				
Tubo	1	2	3	4	5
A	7,6	-	6,3	6,2	7,6
B	2,0	10,0	0,5	2,8	9,4
C	-	-	-	5,9	5,5
D					
E					

Sistema:	NFT - Lechuga romana				
Fecha:	26-sep-19				
Factor:	Altura plantas (cm)				
	Planta				
Tubo	1	2	3	4	5
A	21,4	-	-	33,0	27,5
B	-	36,0	-	-	26,0
C	-	-	-	25,2	19,8
D					
E					

Anexo 10. Registro del crecimiento de los cultivos de Apio en el sistema NFT.

Sistema:	NFT - Apio			
Fecha:	15-ago-19			
Factor:	Altura plantas (cm)			
	Planta			
Tubo	1	2	3	4
A	0,8	0,0	1,0	0,2
B	0,6	0,1	0,1	0,2
C	-	-	0,2	0,4
D				
E				

Sistema:	NFT - Apio			
Fecha:	16-ago-19			
Factor:	Altura plantas (cm)			
	Planta			
Tubo	1	2	3	4
A	1,6	0,7	0,9	1,8
B	1,6	1,2	0,7	0,9
C	-	-	0,6	0,8
D				
E				

Sistema:	NFT - Apio			
Fecha:	27-ago-19			
Factor:	Altura plantas (cm)			
	Planta			
Tubo	1	2	3	4
A	4,0	2,4	2,0	3,6
B	4,0	2,4	-	2,1
C	-	-	2,0	3,0
D				
E				

Sistema:	NFT - Apio			
Fecha:	30-ago-19			
Factor:	Altura plantas (cm)			
	Planta			
Tubo	1	2	3	4
A	4,0	2,5	-	4,7
B	4,5	2,4	-	-
C	-	-	-	3,6
D				
E				

Sistema:	NFT - Apio			
Fecha:	26-sep-19			
Factor:	Altura plantas (cm)			
	Planta			
Tubo	1	2	3	4
A	-	-	-	-
B	-	-	-	-
C	-	-	-	-
D				
E				

Anexo 11. CRONOLOGÍA DEL PROYECTO

A continuación, se muestra la cronología que ha tenido del proyecto desde el momento en que las estudiantes Angie Vanessa Cabal y Alexandra Herrera de la Universidad del Valle decidieron desarrollar este proyecto junto con la Doctora Diana Vanegas de la Universidad del Valle, la Universidad Santiago de Cali, la Fundación Nacederos y la comunidad del sector aledaño a la Huerta el Edén.

- Septiembre 25 de 2017 - Visita de reconocimiento del espacio en el que se realizara el proyecto.
- Septiembre a Diciembre 2017 – Escritura del anteproyecto
- Febrero 9 de 2018 - Adquisición de lombrices californianas para inicial la extracción de lixiviado y realizar los respectivos estudios, para saber si se puede implementar como solución nutritiva.
- Marzo 7 de 2018 – Visita a la Huerta El Edén con los investigadores Eric McLamore Ph. D. (University of Florida) y Gary Sttute Ph. D. (SyNRGE, LLC).
- Abril 16 de 2018 - Análisis de pH y conductividad eléctrica del lixiviado de lombriz californiana.
- Mayo 18 de 2018 - Entrega de los primeros materiales.
- Junio 16 de 2018 – Organización de la zona donde se realizó el vivero.
- Junio 27 de 2018 – Inicio de construcción de los sistemas hidropónicos NFT e Inundación y drenaje en el Taller de Mecánica de la Universidad del Valle.
- Julio 6 de 2018 – Inicio de la construcción de los canales de producción específicos para el cultivo de Lechuga Romana y Espinaca.
- Julio 18 de 2018 – Pruebas de nivel de agua, dentro de los canales para determinar a qué nivel debe ir el desagüe para que llegue al siguiente canal y las plantas tengan el acceso al agua necesario para vivir.
- Septiembre 7 de 2018 – Organización y medición final del espacio para la construcción del vivero en guadua en La Huerta el Eden del barrio Puertas del Sol I en el Distrito de Aguablanca en Cali.
- Septiembre 22 de 2018 – Inmunización de las guaduas a implementar para la construcción del vivero.
- Octubre 11 de 2018 - Pruebas de estabilidad de la estructura y del caudal del agua circulante en los sistemas de I&D diseñados para la producción de Lechuga Romana y Espinaca.
- Octubre 12 de 2018 – Finalización de la construcción de los sistemas hidropónicos en la Universidad del Valle.
- Noviembre 17 de 2018 - Inicio de la construcción del vivero en guadua en La Huerta el Eden, con ayuda de Jhon Edwin.

- Noviembre 24 de 2018 - Traslado de los sistemas hidropónicos de la Universidad del Valle sede Meléndez hasta La Huerta el Edén del barrio Puertas del Sol I en el Distrito de Aguablanca en Cali.
- Noviembre 26 de 2018 – Unión de las guaduas-columnas entre ellas, dándole forma al techo con su respectiva inclinación para evitar el estancamiento de aguas lluvia.
- Enero 10 de 2019 – Instalación del polisombra en el vivero.
- Enero 21 de 2019 – Instalación de estibas alrededor del vivero para evitar la entrada de los animales y utilizarlos como soportes de los semilleros.
- Febrero 8 de 2019 – Instalación del techo en el vivero.
- Febrero 9 de 2019 – Armado e instalación de los sistemas hidropónicos en el vivero.
- Febrero 24 de 2019 – Primeras muestras que se pusieron a germinar en los semilleros.
- Marzo 5 de 2019 – Germinación de las primeras pruebas.
- Marzo 11 de 2018 – Germinación completa de la primera siembra.
- Marzo 13 de 2019 – Trasplante en los semilleros más grandes.
- Marzo 27 de 2019 – Siembra inicial de espinaca y segunda tanda de lechuga romana en semilleros propios de la huerta.
- Marzo 29 de 2019 – Visita de la empresa APROTEC, la visita consistió en tomar medidas y buscar el mejor lugar para ubicar el panel solar.
- Abril 3 de 2019 – Crecimiento de la lechuga romana e instalación de nuevos semilleros con materiales reciclados.
- Abril 3 de 2019 – Instalación del panel solar y el sistema de almacenamiento correspondiente, junto con el inicio de funcionamiento de las bombas.
- Abril 6 de 2019 – Inicio de pruebas de diferentes concentraciones de lixiviado de lombriz californiana en la lechuga romana.
- Abril 10 de 2019 – Primera germinación directa en los sistemas hidropónicos, se realizó la siembra directa de lechuga romana en los sistemas por medio de la espuma agrícola.
- Abril 10 de 2019 – Inicio de pruebas de diferentes concentraciones de lixiviado de lombriz californiana en la espinaca.
- Abril 12 de 2019 – Roce de hongo dentro del vivero para evitar los hormigueros.
- Abril 17 de 2019 – Medición de parámetros (pH y CE) y de crecimiento de plantas de lechuga romana en sistema de NFT y de Inundación y drenaje.
- Abril 23 de 2019 – Reparación de un canal de un sistema NFT y medición de crecimiento de plantas de lechuga romana en sistema de NFT y de Inundación y drenaje.
- Mayo 4 de 2019 – Visita de la Universidad Santiago de Cali a verificar el desarrollo del proyecto. Se diagnostica que las raíces están enfermas.

- Mayo 9 de 2019 – Abertura y arreglo de los vasos plásticos usados como recipientes de las plantas y oscurecimiento de mangueras y tanque.
- Mayo 15 de 2019 - Medición de parámetros (pH y CE) y de crecimiento de plantas de lechuga romana en sistema de NFT y de Inundación y drenaje.
- Mayo 17 de 2019 – Adición de solución nutritiva del lixiviado.
- Mayo 31 de 2019 - Medición de parámetros (pH y CE).
- Junio 8 de 2019 – Muerte de las plantas. Se decide cambiar la solución nutritiva del lixiviado por la industrial.
- Junio 13 de 2019 – Montaje de semilleros y siembra en humedad.
- Junio 18 de 2019 – Limpieza de sistemas, llenado de tanques y sistemas en funcionamiento junto con las bombas.
- Junio 27 de 2019 – Instalación de los medidores y sensores por parte de estudiantes de la Universidad Santiago de Cali.
- Julio 2 de 2019 – Siembra en semilleros de lechuga romana.
- Julio 9 de 2019 – Supervisión del crecimiento de las plantas y funcionamiento de los sistemas.
- Agosto 13 de 2019 – Propagación por medio de escalas del tallo de la planta de lechuga romana y apio.
- Agosto 15 de 2019 – Medición de parámetros (pH y CE) y de crecimiento de plantas de lechuga romana en sistema de NFT cada 2 días durante 20 días.
- Septiembre 2 de 2019 – Finalización de parte experimental.