

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
Facultad de Ingeniería de Alimentos
Maestría en Ingeniería



ESTABLECIMIENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA AGRICULTURA
PROTEGIDA QUE PERMITA LA PRODUCCION DE FORMA SOSTENIBLE EN
CONTEXTOS URBANOS

Opción de titulación
Tesis o Publicación de artículos

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Magister en Ingeniería

Presenta:
John Henry Bautista Segura

Dirigido por:
Deivis Suarez Rivero
Heidy Melisa Bautista

Nombre del evaluador
Presidente

Firma

Nombre del evaluador
Secretario

Firma

Nombre del evaluador
Vocal

Firma

Nombre y Firma
Director de la Maestría

Nombre y firma
Decano de la Facultad de Ingeniería de
Alimentos

Bogotá D.C.

Resumen

Este documento es el resultado de un proceso de investigación desarrollado para automatizar el control del proceso de producción de alimentos en la agricultura urbana dentro de los límites de la ciudad de Bogotá, como alternativa de una práctica agrícola para promover la sostenibilidad y generar productos alimenticios saludables para el consumo personal y su posible comercialización, de ahí que, se plantea como objetivo establecer un sistema automatizado de agricultura protegida que permita la producción de forma sostenible en el sector urbano. El cual se desarrolla como una alternativa social, ambiental y tecnológica en pro de la seguridad y soberanía alimentaria y se lleva a cabo durante el periodo de pandemia, en el interior de un apartamento de la ciudad de Bogotá ubicado en las coordenadas 4°38'41.7"N 74°08'19.7"W, además, con el fin de evaluar la implementación de tecnologías emergentes de fácil adquisición en la ciudad para la supervisión de variables y la automatización del proceso se determinó el uso de una metodología cuantitativa, bajo un diseño metodológico experimental, que permite la asignación de diversidad de variables con el fin de describir de qué modo o porque causa se produce una situación particular durante los primeros 15 días de cultivo de rábano, para lo cual se usaron diversidad de técnicas de investigación, que, bajo la aplicación tecnológica, el diseño ingenieril y la influencia al establecer un microclima particular, permite el tratamiento de la combinación de los datos y su debida modificación conforme la necesidad trazada de producción. Los resultados obtenidos muestran que el microclima generado es propicio para el crecimiento del material vegetal, con respecto a los dispositivos de control implementados, sin embargo, los módulos de déficit de humedad de suelo YL100 no son los apropiados ya que presentan un alto deterioro como resultado de una prolongada exposición a la humedad en la tierra.

Palabras clave: Seguridad alimentaria; agricultura protegida; automatizado; sistema; urbano.

Abstract

This document is the result of a research process developed to automate the control of the food production process in urban agriculture within the limits of the city of Bogotá, as an alternative to an agricultural practice to promote sustainability and generate healthy food products. for personal consumption and its possible commercialization, hence, the objective is to establish an automated system of protected agriculture that allows production in a sustainable way in the urban sector. Which is developed as a social, environmental and technological alternative in favor of food security and sovereignty and is carried out during the pandemic period, inside an apartment in the city of Bogotá located at coordinates 4°38' 41.7"N 74°08'19.7"W, in addition, in order to evaluate the implementation of emerging technologies of easy acquisition in the city for the supervision of variables and the automation of the process, the use of a quantitative methodology is limited, under a experimental methodological design, which allows the protection of a diversity of variables in order to describe how or why a particular situation occurs during the first 15 days of radish cultivation, for which a variety of research techniques were used, which , under the technological application, the engineering design and the influence when establishing a particular microclimate, allows the treatment of the combination of the data and its due modification with forms the traced need for production. The results obtained show that the generated microclimate is conducive to the growth of plant material, with respect to the implemented control devices, however, the YL100 soil moisture deficit modules are not appropriate since they present a high deterioration as a result. from prolonged exposure to moisture in the soil.

Keywords: Food security; protected agriculture; automated; system; urban.

A aquellos que me hacen levantar a diario y ver de frente cada nuevo día: mi
esposa y mis hijos

Y aquellos que constantemente me preguntaron cómo va ese trabajo de grado.

Agradecimientos

A mis directores de tesis quienes me guiaron por el camino correcto para el desarrollo del documento final.

A mi esposa que estuvo incondicionalmente para apoyarme en todo momento durante este tiempo de pandemia.

A mis padres que siempre me motivan a continuar adelante con cada proyecto que emprendo.

1. Tabla de Contenido

2.	INTRODUCCIÓN	11
3.	MARCO TEÓRICO	13
3.1	EL HOMBRE Y LA AGRICULTURA	13
3.2	SEGURIDAD ALIMENTARIA Y SOSTENIBILIDAD.....	14
3.3	AGRICULTURA URBANA	17
3.4	AGRICULTURA PROTEGIDA	18
3.5	INVERNADEROS	19
3.6	EFICIENCIA PRODUCTIVA.....	21
3.7	TECNOLOGÍA AUTOMATIZACIÓN Y SENSÓRICA	23
	3.7.1 <i>Automatización Y Agricultura</i>	24
	3.7.2 <i>Sensores En La Agricultura</i>	25
3.8	LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD	27
4.	JUSTIFICACIÓN	31
5.	OBJETIVOS	32
5.1	OBJETIVO GENERAL	32
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
6.	METODOLOGÍA	33
6.1	UBICACIÓN Y ESPACIO DEL ESTUDIO	35
6.2	MATERIAL VEGETAL.....	35
	6.2.1 <i>Tecnológicos</i>	36
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
7.1	IDENTIFICACIÓN BAJO LAS CONDICIONES DE AGRICULTURA URBANA DE LAS VARIABLES PARA EL DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE AMBIENTE CONTROLADO EN ESPACIOS REDUCIDOS	39
	7.1.1 <i>Elementos Climáticos</i>	42
	7.1.2 <i>Variables Para La Construcción De Un Invernadero.</i>	42

7.2	ESTRUCTURACIÓN DEL AUTOMATISMO QUE PERMITA EL ESTUDIO DE VARIABLES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO.....	43
7.2.1	<i>Estructura</i>	44
7.2.2	<i>Sistema De Control</i>	52
7.3	CONDICIONES DE CONTROL	54
7.3.1	<i>Sistema De Riego</i>	54
7.3.2	<i>Ventilación Del Prototipo</i>	56
7.4	EVALUACIÓN TÉCNICA DE VIABILIDAD DE LA APLICACIÓN DEL PROTOTIPO BAJO LAS CONDICIONES DE AGRICULTURA URBANA.....	60
7.4.1	<i>Riego Por Goteo</i>	61
7.4.2	<i>Sistema De Ventilación Forzada</i>	63
7.4.3	<i>Desarrollo Vegetal</i>	63
8.	CONCLUSIONES	69
9.	GLOSARIO	71
10.	BIBLIOGRAFÍA	72

Tablas

<i>Tabla 1 Metas ODS Agenda 2030.....</i>	16
<i>Tabla 2 Tipos de Invernaderos.....</i>	20
<i>Tabla 3 Sensores Para Deteccion De Magnitudes Frecuentes.....</i>	26
<i>Tabla 4 Algunas Iniciativas AU a Nivel Global.....</i>	28
<i>Tabla 5 Planes de Desarrollo Distrital De La Ciudad de Bogota(PDD).....</i>	29
<i>Tabla 6 Desarrollo Metodologico.....</i>	33
<i>Tabla 7 Ficha Tecnica Rabano semicol.....</i>	36
<i>Tabla 8 Factores de Diseño Estructural.....</i>	44
<i>Tabla 9 Calculos De La Cubierta y Volumen diseño Invernadero Tipo Capilla.....</i>	50
<i>Tabla 10 Calculoa area de la cubierta Y volumen diseño invernadero eliptico.....</i>	50
<i>Tabla 11 Calculos area de la Cubierta y Volumen del Prototipo.....</i>	50
<i>Tabla 12 Proceso de corte y ensamblaje estructura.....</i>	51
<i>Tabla 13 Ficha tecnica del ventilador.....</i>	57
<i>Tabla 14 Valores sensores Humedad de Tierra.....</i>	61
<i>Tabla 15 Espesor y largo del tallo.....</i>	66

Figuras

<i>Figura 1 Problemas y Peligros de la Produccion a campo abierto</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 Revoluciones Industriales</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3 Modulo Sensor XDK.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4 Proceso de Construccion Del Prototipo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5 Parametros de Busqueda.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6 Consulta de Bases De Datos</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7 Consulta de Base De Datos 2</i>	<i>41</i>
<i>Figura 8 Plano Opcion N°1.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 9 Plano Opcion N°2.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 10 Plano Opcion N°3 Prototipo Modular.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11 Modelo Isometrico y Resultado Final</i>	<i>48</i>
<i>Figura 12 Esquema electrico N°1.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 13 ID Arduino</i>	<i>54</i>
<i>Figura 14 Esquema Hidraulico de riego</i>	<i>55</i>
<i>Figura 15 Sistema de distribucion de agua con sus perifericos.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 16 Esquema Electrico N°4</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17 Esquema electrico N°2.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 18 Esquema electrico N° 3.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 19 Esquema electrico N° 5.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 20Codigo de caracterizacion de sensores</i>	<i>62</i>
<i>Figura 21 Sistema de riego por goteo</i>	<i>62</i>
<i>Figura 22 Corrosion en sensor de humedad de suelo.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23 Pruebsa de Sistema y germinacion.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24 Semillas germinadas</i>	<i>65</i>
<i>Figura 25 Mediciones de longitude y de espesor</i>	<i>65</i>
<i>Figura 26 Longitud de los tallos, medicion en mm.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 27 Espesor de tallo, medicion en mm</i>	<i>67</i>
<i>Figura 28 Hojas a los 15 dias de cultivo.....</i>	<i>68</i>

Figura 29 Hojas 5 días despues de la siembra..... 68

2. Introducción

La agricultura desempeña una labor importante en el desarrollo social y económico de la sociedad, desde la revolución neolítica hasta la actualidad ha jugado un papel trascendental en la transformación de las actividades humanas para la obtención de alimentos, de la recolección y la caza, a procesos agrícolas y ganaderos con el fin de suplir de manera más eficiente las necesidades alimenticias del ser humano, (Tauger, 2010), además, el aumento de la población a nivel mundial, el incremento significativo de la población del sector urbano, el abandono del sector rural, el aumento de la malnutrición y subalimentación, la desaceleración económica, la desigualdad, el aumento de la pobreza por nombrar algunos de los factores que disminuyen la posibilidad de acceso a productos y servicios de buena calidad (FAO et al., 2019).

Sumado a esto, las diferentes crisis sociales en el transcurso de la historia relacionadas con: el crecimiento y desarrollo industrial, los conflictos bélicos, la economía e intereses regionales propios de cada nación, esporádicamente se ve el resurgimiento de la agricultura en el interior de las ciudades, como alternativa para subsanar las falencias económicas y alimenticias de cada nación (Fernandez, 2016), de hecho, con el transporte de plantas tropicales hacia Europa y la idea de mantenerlas en buen estado y garantizar su desarrollo, los primeros invernaderos se desarrollaron a partir del siglo XVI, para poder adaptar plantas exóticas, con estructuras en vidrio con el objetivo de crear un microclima que garantice el crecimiento de las plantas en sitios diferentes de donde son nativas, con esto se abre la posibilidad de cultivar todo tipo de plantas asegurando la producción de alimentos sin depender de la época del año pero es a partir de los años 60 con la introducción del material plástico como cubierta que realmente despegan los cultivos protegidos (Maroto, 2014), de esta manera la agricultura protegida se ha convertido en un componente fundamental de la agricultura moderna, presentándose como una alternativa para los procesos agrícolas.

Por otro lado, el avance tecnológico advierte un cambio indudable de los estilos de vida de la población, pues son claves para encontrar soluciones permanentes a los diferentes desafíos presentados que surgen como consecuencia de un mundo cambiante, con un enfoque diferente en pro de la investigación, la innovación y el desarrollo sostenible (UNDP, 2019), de hecho con la implementación de la automatización en el sector industrial se busca transferir tareas que habitualmente son desarrolladas por animales de carga y seres humanos, a un conjunto de elementos y dispositivos capaces de tomar decisiones y de hacer trabajos rutinarios. (Barbado et al. 2016), precisamente, al establecer un cultivo dentro de una estructura se pueden obtener múltiples ventajas en la producción, lo que invita al desarrollo de diversos tipos de invernaderos con la adopción de diferentes tecnologías para el control y supervisión del micro clima en su interior, de esta manera se abre la posibilidad de establecer un proceso urbano de agricultura con la inclusión de estas tecnologías y a su vez da paso a la creación de procesos de producción más tecnificados y productos de mayor calidad y accesibilidad para personas de bajos ingresos.

Por consiguiente, en este trabajo se planteó establecer la aplicabilidad de un sistema de agricultura protegida “invernadero” en el sector urbano, para la producción de alimentos en áreas reducidas dentro de los límites urbanos, con las que se permita el manejo de variables atmosféricas que optimicen el desempeño de los cultivos. Y así aumentar la comprensión existente sobre los vínculos que hay entre la agricultura, la tecnología, el medio ambiente y la salud humana.

¿Qué influencia ejerce el establecimiento de un sistema automatizado bajo las condiciones de un ambiente controlado y de agricultura urbana, sobre los indicadores de crecimiento de un cultivo de rábano?

3. Marco Teórico

3.1 El Hombre Y La Agricultura

La manera de satisfacer las necesidades alimenticias del ser humano durante el transcurso de la historia se ha visto influenciada por factores asociados a cambios constantes en diferentes vivencias de los grupos sociales. De esta manera en los orígenes de la sociedad estos cambios están relacionados a actividades que se llevan a cabo con el fin de suplir necesidades básicas para subsistir, así como, la alimentación, la cual en su momento se satisface con actividades como la caza, lo que obliga al ser humano a trasladarse constantemente a sitios donde exista mayor abundancia de animales y sea más sencillo completar estas labores, sin embargo, esto no satisface las necesidades alimenticias del ser humano y con el fin de mantener la dieta del individuo, también se hace necesaria la recolección de plantas silvestres, con las que complementa su alimentación.

A partir de la revolución neolítica, el ser humano cambia de costumbres y deliberadamente inicia el proceso de siembra y cosecha de las semillas recolectadas, de esta manera desarrolla otra forma de obtener sus alimentos, en consecuencia, se generan grupos más grandes de personas en torno a estas actividades con el fin de proteger y garantizar que prosperen los cultivos, con un fin en común ,mantener a salvo sus cultivos de animales al igual que de otras personas, como resultado de esto, aproximadamente en el año 8000 AC se difunde la agricultura por el mediterráneo, esto ocasiona un desarrollo y crecimiento social alrededor de este nuevo estilo de vida, es así que se crean nuevas actividades las cuales ya no están enfocadas directamente a la obtención de alimentos y el ser humano establece modelos económicos para intercambiar los productos que son el resultado de estas nuevas actividades por productos alimenticios, en consecuencia, aparecen la diferentes clases sociales derivadas de las actividades emergentes en las que el agricultor queda en el eslabón más bajo de la cadena y solo es el

encargado de cultivar y cosechar los alimentos para las clases más altas. (Tauger, 2010)

De ahí que, al mantenerse la agricultura, siempre dentro de un círculo social específico se desarrollan nuevas técnicas y conocimientos enfocados a la transformación del entorno natural con la finalidad de conseguir mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos, de esa forma al heredar las costumbres de un pueblo con ellas se transmite también el conocimiento a las nuevas generaciones los cuales se adaptan a cada nueva era, desarrollando mejores técnicas para los procesos de cultivo (QAMPO, 2020).

Por otro lado, el crecimiento de los grupos sociales también facilita la propagación de parásitos y enfermedades infecciosas, además de la malnutrición y escases de alimentos en una sociedad emergente, donde ya se puede visualizar la desigualdad derivada de las profundas divisiones entre las clases sociales.

3.2 Seguridad Alimentaria Y Sostenibilidad

Debido al aumento de población se ve un incremento significativo de la producción agrícola a nivel mundial, esto con el fin de suplir las necesidades alimenticias de cada uno de los individuos pertenecientes a la sociedad, sin embargo, no significa que realmente se logre cubrir a cabalidad las necesidades alimentarias emergentes de cada individuo, lo que nos lleva a mencionar que a nivel mundial a pesar de los diferentes esfuerzos en la lucha contra el hambre y la malnutrición aún existen personas sin acceso a la cantidad de alimentos suficiente que satisfagan sus necesidades alimenticias. Por lo tanto, no existe la tan llamada seguridad alimenticia. Que se define de la siguiente manera

Según la FAO la seguridad alimentaria:

A nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a suficiente

alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana. (FAO, 2019).

Lo cual establece cuatro dimensiones primordiales de la seguridad alimentaria que cimentan sus bases en el bienestar y la calidad de vida del individuo y de la sociedad.

En busca de lograr un desarrollo sostenible para la nación, es de suma importancia eliminar el hambre y la malnutrición, teniendo en cuenta que debido a esto se disminuyen las capacidades de la persona, ya que no cuenta con los nutrientes necesarios en el cuerpo para un desarrollo apropiado y una vida saludable (Prada, 2018). En respuesta a lo ya mencionado se hace un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todo individuo goce de paz y prosperidad para el 2030. (UNDP, 2019)

Tomando en cuenta lo anterior se puede decir que los objetivos de desarrollo sostenible plantean erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos, con respecto a esto se toman en cuenta dos de los objetivos de Desarrollo Sostenible “ODS” propuestos por el organismo de las naciones unidas para el desarrollo “PNUD” que se alinean con el proyecto de investigación con el fin de aportar en cierta medida con el alcance de dichos objetivos.

El número dos “Hambre Cero” con el que se propicia iniciativas enfocadas a: poner fin al hambre, garantizar la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición de la población y promover la agricultura sostenible. (ONU, 2020). El número doce “producción y Consumo Responsable” con iniciativas para garantizar modalidades de consumo y producción sostenible, bajo el contexto de la agenda 2030. (ONU, 2020)

En Colombia se plantean 16 metas para los objetivos de desarrollo sostenible, a continuación, en la Tabla 1, se presentan las metas de los objetivos N°2 y N°12.

Tabla 1 Metas ODS Agenda 2030

ODS N°2 HAMBRE CERO	ODS N°12 PRODUCCION Y CONSUMO RESPONSIBLE
2.1 Acceso universal a la alimentas seguros y nutricionales	12.1 Implementar el marco de consumo y producción sostenible
2.2 Terminar con todas las formas de desnutrición	12.2 Gestión sostenible y uso de los recursos naturales
2.3 Duplicar la productividad y los ingresos de pequeños productores de alimentos	12.3 Reducir a la mitad los residuos mundiales de alimentos per cápita
2.4 Producción sostenible de alimentos y prácticas agrícolas resilientes	12.4 Gestión responsable de productos y residuos químicos
2.5 Asegurar la diversidad genética en la producción de alimentos	12.5 Reducir sustancialmente la generación de residuos
2.A Invertir en infraestructura rural, investigación agrícola, tecnología y bancos de genes	12.6 Fomentar practicas sostenibles en las empresas
2.B Prevenir restricciones al comercio agrícola, distorsiones del mercado y subsidios a la exportación	12.7 practicas sostenibles de contratación publica
2.C Asegurar mercados de productos alimenticios estables y acceso oportuna a la información	12.8 Promover la comprensión universal de los estilos de vida sostenibles
	12.A Fortalecer la capacidad científica y tecnología de los países en desarrollo
	12.B Desarrollar e implementar herramientas para monitorear el turismo sostenible
	12.C Eliminar distorsiones del mercado que fomentan el consumo excesivo

Nota: Con esto se traza el camino para cumplir la agenda 2030. Tomado de (Departamento nacional de Planeacion, 2020)

Con base en lo anterior y otros parámetros adicionales, se promueve la obtención de alimentos más saludables para aquellas personas que buscan romper con hábitos alimenticios inapropiados y se pueda dar la posibilidad de acceder a alimentos de mejor calidad, ante un futuro desabastecimiento de alimentos derivada de situaciones como la que se vive actualmente a causa del COVID-19, por tal motivo es importante pasar de una actitud reactiva a una más proactiva con el fin

de vislumbrar la producción de alimentos en otros espacios donde posiblemente se pueda suplir en gran parte las necesidades alimenticias de cada individuo.

En la ciudad de Bogotá se han iniciado proyectos en los diferentes planes de desarrollo distrital con el fin de vincular una vez más los procesos agrícolas al interior de la ciudad, esto como una opción que busca satisfacer la necesidades de la población y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, inicialmente con poca acogida y bastantes críticas hacia estas iniciativas, pero fortaleciéndose con el pasar de los años y el apoyo de diferentes actores políticos y comunitarios de la capital, un claro ejemplo de ello es “Bogotá es mi huerta” una iniciativa del jardín botánico con la que se busca contribuir con la soberanía alimentaria de la ciudad. (Rivera, 2021)

3.3 Agricultura Urbana

El desarrollo conjunto entre la agricultura y la ciudad crea enlaces que con el tiempo llegan a romperse por el inevitable crecimiento del área industrial en el sector urbano, desplazando a zonas más alejadas de la ciudad procesos agrícolas que anteriormente tenían cabida en el interior de las ciudades y mayormente en sus alrededores, donde se lleva a cabo de forma intensiva para soportar las necesidades alimenticias de la ciudad, de hecho, la agricultura urbana también mencionada como AU no es algo nuevo, en la edad media con la aparición de las ciudades amuralladas los huertos urbanos eran una práctica común y adicional otras actividades de la agricultura que se llevaban a cabo alrededor de las ciudades, y por su cercanía existía una relación directa entre los habitantes de las ciudades y los campesinos que producen los alimentos. (Nahmias y Le Caro, 2012)

Es común encontrar diferentes cultivos de plantas dentro y alrededor de las ciudades, para muchos, esto es tan solo un pasatiempo con el que buscan ocupar espacios de tiempo libre dentro de la rutina de su diario vivir, para otros es un escape de la triste realidad que de una u otra forma obliga a un consumo inapropiado de alimentos, los cuales no aportan los nutrientes necesarios para el desarrollo del

individuo, pero también puede ser visto como una forma de ingreso económico si se emplea el tiempo indicado y se hacen los procesos adecuados, bajo este contexto, en Bogotá se practica este tipo de agricultura en 8 de las 20 localidades de la ciudad dentro de las cuales se pueden mencionar: Usaquéen, Suba, Usme, Engativá entre otras. (Rodríguez, 2020)

Además, es importante mencionar que, con las nuevas tecnologías emergentes en el sector industrial llevadas a diversos espacios diferentes de la industria, se abren nuevas posibilidades para fortalecer diferentes procesos, dentro de estos los agrícolas, no solo a cielo abierto también en espacios reducidos, lo que genera ideas alternativas para la producción de alimentos en sitios en los que antes no era posible lograr dichas actividades resultado de la construcción de espacios cerrados en los que se da la posibilidad de generar o crear un micro clima apto para la conservación y producción de alimentos.

3.4 Agricultura Protegida

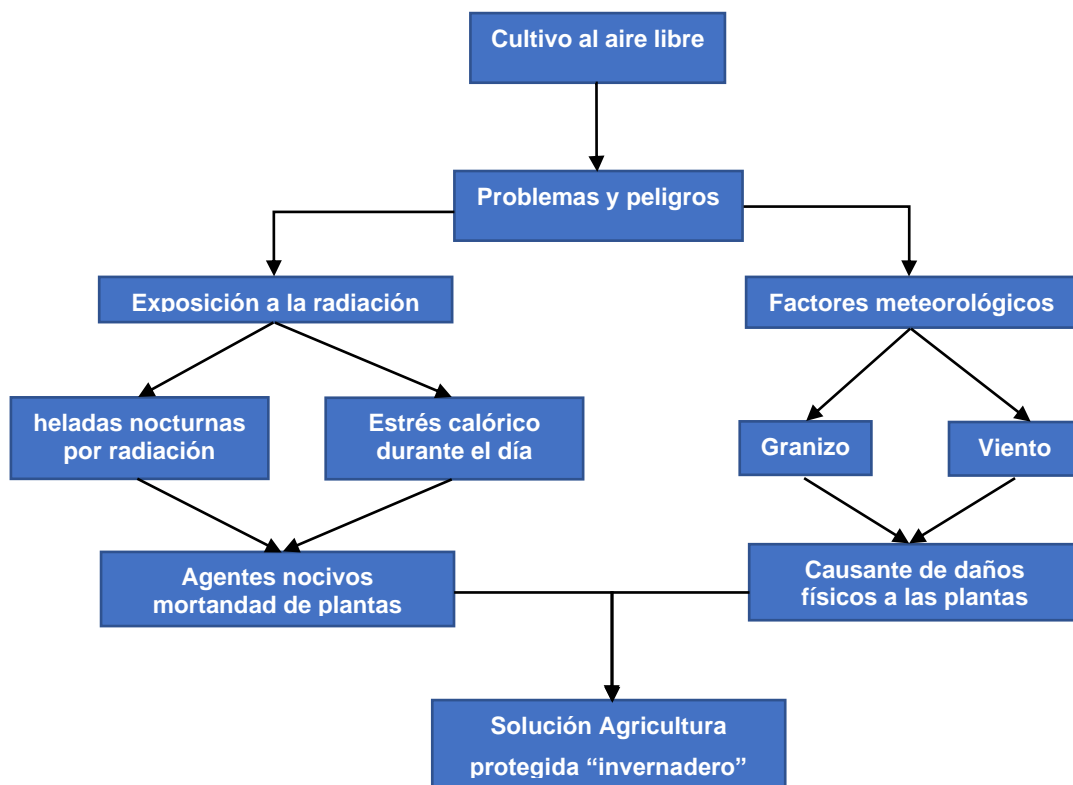
En cualquier tipo de proceso productivo lo esperado es obtener la mayor rentabilidad posible, la agricultura no es la excepción, de tal manera que, en las diferentes actividades enfocadas a cultivar la tierra para la producción de alimentos, se debe hacer frente al riesgo de pérdida existente y en estos procesos al estar íntimamente ligados a los cambios atmosféricos que se pueden presentar en cualquier región del mundo el riesgo puede ser mayor.

En vista del impacto que estos cambios ocasionan en los cultivos y como afectan la productividad de los mismos, la agricultura protegida ofrece la posibilidad de controlar algunos factores medioambientales haciendo uso de ciertas estructuras con las que se minimice la afectación de los cambios climáticos sobre los cultivos, incluso se aproveche al máximo factores influyentes en el desarrollo de las plantas como la cantidad de luz, la temperatura, la humedad y el nivel de CO₂ y de esta manera optimizar los procesos productivos.

Con base en lo anterior, se puede decir que la agricultura protegida es una forma de producción con la que el agricultor puede controlar algunos factores del medio ambiente y la estructura que se utilice depende del volumen de producción y el control ambiental y los factores a controlar. De esta manera se cuenta con diferentes tipos de estructuras tales como el micro túnel, macro túnel, casa de sombra, mallas protectoras e invernaderos.

Figura 1

Problemas y Peligros de la Producción a campo abierto



Nota: Con la agricultura protegida se pueden modificar los factores climáticos. Tomado de. (Corpoica, 2012)

3.5 Invernaderos

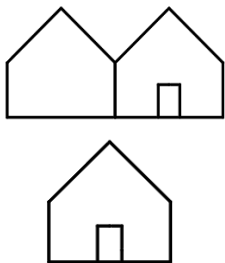

Partiendo del hecho que no en todos los ecosistemas del mundo se cuenta con un clima propicio para cultivar alimentos, el cambio de estaciones tampoco permite que se pueda cultivar durante todo el transcurso del año, sumado a esto,

los bruscos cambios climáticos que se presentan continuamente como resultado del calentamiento global y/o la probabilidad de que un agente externo como, la aparición de plagas que perjudican el correcto desarrollo del cultivo, son problemáticas que comúnmente afectan a la agricultura.

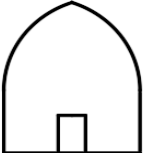
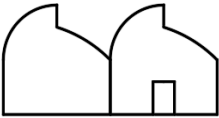
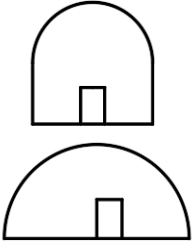
Con el fin de mejorar las condiciones ambientales en los cultivos agrícolas, los invernaderos se han implementado como opción de cultivo ya que son una muy buena alternativa para quien quiere cosechar alimentos fuera de temporada o en lugares inhóspitos, esto gracias a que son estructuras herméticamente cerradas lo cual facilita establecer un microclima en su interior que genera esas condiciones ambientales propicias que pueden ser controladas de manera artificial para que pueda prosperar el cultivo sin daños ocasionados por los cambios climáticos, plagas y enfermedades, garantizado de esta manera cultivos de excelente calidad en el interior de los diferentes tipos de invernaderos que existen, los cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

Tipos de Invernaderos

TIPO	IMAGEN	CARACTERISTICAS	FUENTE
CAPILLA DE TECHO A DOS VERTIENTES		Estructura con geometría triangular en la cubierta formado por planos inclinados, permite que el agua se deslice fácilmente por su superficie, pueden construirse en áreas grandes y pequeñas, para climas templados y fríos, de fácil adaptabilidad a otros tipos de climas, para cultivo de vegetales, explotación de caracoles, gusanos de seda, pero mayormente utilizado en el cultivo de flores.	(Ininsa, 2020)
PARRAL		Estructura con geometría rectangular, usado en zonas con poca lluvia, la cubierta tiene un tendido plástico hecho sobre una estructura flexible formada con entretejidos metálicos pueden ser, mallas de alambre galvanizado superpuestas.	(Infoagro, 2020)

Tipos de invernaderos

TIPO	IMAGEN	CARACTERISTICAS	FUENTE
GÓTICO		Estructura con geometría ojival en el techo del invernadero, estos dos semicírculos que forman su cubierta facilitan que se deslice el agua y aumenta el volumen del aire contenido en su interior y cuenta con una altura mayor que cualquier otro invernadero	(IMA, 2021)
ASIMÉTRICO, DIENTE DE SIERRA O INACRAL		Estructura con geometría asimétrica un lado con mayor elevación que el otro, se construye con orientación oriente, occidente, con el fin de aprovechar y aumentar la capacidad de captación de luz solar, adicional a esto, cuenta con una buena ventilación gracias a su diseño	(NOVAGRIC, 2020)
ELIPTICO O TUNEL ALTO Y TIPO TUNEL		Estructura con geometría en forma de arco facilita el deslizamiento del agua en su superficie, buena trasmisión de luz, buen efecto de ventilación natural, adicional a esto, tiene una mayor capacidad para el control de los factores climáticos, el tipo túnel se diferencia del túnel alto por que carece de paredes rectas y tiene mayor resistencia a fuertes vientos.	(Infoagro, 2020)

Con la implementación de nuevas tecnologías emergentes en estos tipos de sistemas como una alternativa productiva para contrarrestar situaciones adversas, en relación del control de los factores atmosféricos en ambientes climatizados, semi climatizados y no climatizados, se propician entornos adecuados para la producción de diversos cultivos agrícolas o de otro tipo de actividades como la producción de caracoles o gusanos de seda por mencionar algunos de ellos. (Corpoica, 2012)

3.6 Eficiencia Productiva

A lo largo de la historia del ser humano su desarrollo se da entorno a diferentes tipos de organizaciones, claro ejemplo de ello, la educación y la alimentación, en ambos casos es necesario que las organizaciones cumplan con

una labor determinada. Para el último ejemplo, se establece la productividad agrícola como parte del cumplimiento de las necesidades provistas para el desarrollo social y su aumento poblacional, conservando, mejorando y haciendo uso eficiente de los recursos naturales con el fin de contribuir con la conservación del medio ambiente y su restablecimiento en caso de algún tipo de deterioro por causa del desarrollo productivo.

De esta manera queda establecida la necesidad de aplicación de conceptos propios de la eficiencia productiva, ya que en este caso muchos factores ecológicos, están involucrados para obtener un producto; el cual debe cumplir con parámetros nutricionales pero que están sometidos a diversas variaciones debido a la degradación ambiental, que está vinculada en muchos casos a diversidad de plagas, escases de agua, en incluso características nutricionales del suelo.

Para todo sistema de producción sea cual sea el producto que se quiere obtener, es necesario de una cantidad específica de bienes y servicios (recursos) que corresponden a las entradas del sistema de producción, con las cuales se deben obtener una cantidad de bienes y servicios (artículos o productos) que corresponden a las salidas del sistema de producción (Hogares campesinos juveniles , 2010).

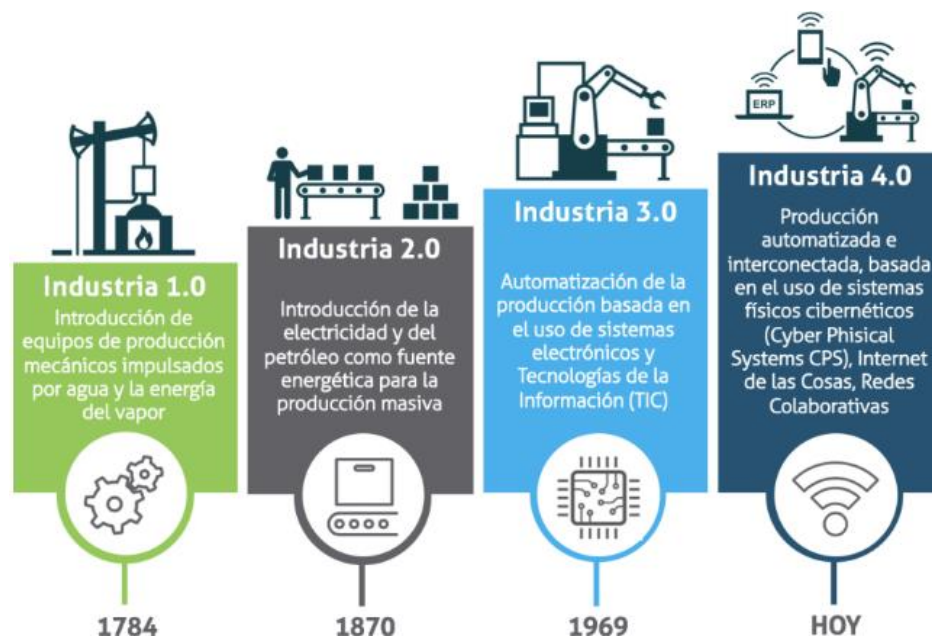
Con la implementación de nuevas tecnologías de control automático de variables en ambientes controlados, como es el caso de las empresas farmacéuticas las cuales elaboran productos de consumo humano bajo estrictas condiciones ambientales, lo cual abre la posibilidad de vincular en mayor medida el uso de estas tecnologías en espacios herméticamente cerrados en donde la producción de alimentos se lleva a cabo, lo que posibilita magnificar el crecimiento de cultivos en sitios antes no contemplados.

3.7 Tecnología Automatización Y Sensórica

El progreso tecnológico ha sido precedido por algún tipo de necesidad, de ahí que en el transcurso de la historia del hombre hoy en día se pueda hablar de la primera, segunda, tercera y cuarta revolución industrial cada una de ellas con un aporte importante al desarrollo de la humanidad como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Revoluciones Industriales



Nota: tomado de (Dueñas, 2019)

En consecuencia, con el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector agroindustrial, se abren nuevas oportunidades con la capacidad de supervisar el desarrollo de los cultivos y programar actividades de forma automática, la agricultura de precisión es un conjunto de tecnologías (Mecatrónica) que sumado a las actividades agrícolas, mejora los procesos de cultivo en el campo, con el control de las condiciones del cultivo, y la nuevos protocolos de comunicación aplicados en este campo como Zigbee (Madruga et al., 2019).

3.7.1 Automatización Y Agricultura

La automatización incluye principalmente tres disciplinas propias de la ingeniería la mecánica, la electrónica y la informática tanto hardware como software, y su finalidad es la de sustituir las acciones que realiza el operario de una maquina por operadores artificiales para el control de procesos industriales, mejorar la productividad, la calidad de los productos, realizar operaciones imposibles de realizar por el hombre y aumentar la disponibilidad de los productos (Barrientos & Gambao, 2014), en las últimas décadas con la implementación de software y hardware más robustos lo cual ha permitido el control de mayor cantidad de procesos, con el fin de lograr un sofisticado sistema de automatización que brinde una solución a la necesidad planteada, es preciso contar con los conocimientos teóricos y técnicos necesarios, para desarrollar un diseño mecatrónico que satisfaga los objetivos con los que se quiere cumplir para dicho automatismo, es decir, se debe contar con esa multidisciplinariedad que finalmente constituye el principio de la mecatrónica. No obstante, con el fin de, construir la mejor propuesta se necesita también de los conocimientos específicos del área en la que se quiere aplicar el desarrollo del automatismo para identificar cuáles son los dispositivos que hacen parte del sistema automático entradas, circuitos de mando y de potencia. (Gonzales, 2012)

Para este caso, si se vinculan procesos de producción agrícola, se deben seleccionar las tecnologías más apropiadas que satisfagan las necesidades de supervisión para el desarrollo del material vegetal esto con la finalidad de dar inicio con el diseño, el cálculo y revisión bibliográfica necesaria, para el proyecto en cuestión, posteriormente se selecciona la tecnología apropiada para la construcción del automatismo que puede ser neumático, hidráulico, eléctrico, electrónico, mecánico o la integración de diferentes tecnologías y finalmente pasa a una etapa de simulación si se considera necesario con el fin de garantizar la funcionalidad del diseño.

3.7.2 Sensores En La Agricultura

Todo proceso industrial a nivel mundial se ve influenciado por los diferentes avances tecnológicos, en la agroindustria estas nuevas tecnologías se han ido incorporando con la finalidad de realizar acciones de manera automática o de monitorear los diferentes factores que influyen en el desarrollo de un cultivo, esto es posible con dispositivos (sensores) que estén en la capacidad de interpretar o percibir cambios físicos que están en su entorno, los cuales son magnitudes susceptibles a sistemas de medición, que tienen como objetivo vigilar, seguir y/o controlar un proceso específico.

Los sensores o captadores, son dispositivos que a partir de la energía del medio donde se mide entregan una señal de salida transducible que es en función de la variable medida (Pállas Areny, 2006), en el área agrícola sobresalen factores como la temperatura, la humedad, la intensidad lumínica y la cantidad de CO₂ por mencionar algunas de ellas, en consecuencia, la importancia de la selección del dispositivo de medición, lo cual se puede hacer con base en el aporte de energía, señal de salida y el modo de operación, pero desde el punto de vista ingenieril es más atractivo seleccionarlo según la magnitud que se desea controlar o supervisar.

De estos dispositivos se pueden encontrar, los que tienen contacto físico de alguna manera en el medio al cual se hace la medición o aquellos en los que el contacto físico no es necesario para hacer posible la medición en el cambio de la magnitud, por ejemplo para el cambio de posición de un actuador (válvulas, cilindros, motores, etc.) se puede hacer con sensores de tipo inductivo, capacitivo u ópticos, con los que no es necesario el contacto físico o con finales de carrera en los cuales si debe existir contacto físico entre el dispositivo y el actuador para obtener una señal acorde al desplazamiento, en el caso de sensores que interpretan la humedad en el suelo es importante mencionar que son elementos que por su construcción se deben enterrar en el suelo, por lo que tienen contacto físico con el medio, por otro lado la medición del cambio térmico se puede hacer mediante

sensores de temperatura, que según su principio de funcionamiento puede cambiar su construcción e implementación, adicional se acoplan a las necesidades del sistema de medición, estos por mencionar algunos de los diferentes instrumentos de medición que se pueden encontrar en el mercado, la flexibilidad permite su accionamiento con voltajes de alimentación variados según su implementación, en conclusión, existe una gran variedad de dispositivos de medición como se pueden ver a continuación.

Tabla 3

Sensores Para Detección De Magnitudes Frecuentes

SENSOR	TIPO	IMAGEN	MAGNITUD	REFERENCIA
Sensor SIED	Inductivo		Posición	(FESTO, 2021)
Sensor SIES-Q	Inductivo		Posición	(FESTO, 2021)
Sensor TH-706	Humistor		Humedad de suelo	(Direct INDUSTRY, 2021)
Sensor SEN-HUN-SU-ANT-CORR	Humistor		Humedad de suelo	(Electronilab, 2021)
Sensor YL100 / YL69	Humistor		Humedad de suelo	(Electronilab, 2021)
Sensor PT100	Termistor		Temperatura	(INSTRUMATIC, 2021)
Sensor DHT11	Termistor y Humistor		Temperatura y Humedad	(Bigtronica, 2021)

Por otro lado, es importante mencionar que también se cuenta con módulos de multi sensores utilizados para aplicaciones IoT en tiempo real, como el sensor XDK que se muestra en la Figura 3, los cuales son dispositivos programables de código abierto y de última generación para la creación de prototipos de control y supervisión, con conexión física o inalámbrica, estos se conocen como sensores inteligentes los cuales requieren de un mayor procesamiento de datos con la capacidad de compensar errores para adaptarse al medio circundante (Bolton W. , 2013).

Figura 3

Modulo Sensor XDK



Nota: (Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, sensor de humedad, presión, temperatura, sonido e intensidad de luz). Tomado de (BOSCH, 2017)

3.8 Legislación y normatividad

En primer lugar, es importante mencionar que la normatividad vigente para la construcción de estructuras para el cultivo protegido “Invernaderos”, en Europa se cuenta con la norma española UNE-EN 13031-1:2020 Invernaderos calculo y construcción, la cual es la versión oficial en español que tiene como objetivo los principios generales y requisitos para construcción de invernaderos comerciales.

Por otro lado, los países que apoyan la AU se enfocan en los objetivos de desarrollo sostenible “ODS” con la finalidad de aportar en la solución de algunos de ellos, con iniciativas gubernamentales o de entes privados, algunas de ellas se presentan en la tabla 4:

Tabla 4*Algunas Iniciativas AU a Nivel Global*

Iniciativa	Lugar	Productos	Referencia
Granja flotante en Rotterdam	Rotterdam, Holanda	Producción de lácteos	(Campo News, 2020)
Huerto sobre los tejados de París	París, Francia	Hierbas aromáticas, fresas, frambuesas, berenjenas, patatas, tomates, zanahorias, lechugas, cebollas, habas, calabazas, etc.	(Revol Maurel, 2020)
Programa de Agricultura Urbana de la secretaria de Economía Social	Municipalidad rosario, Argentina	Agrícolas	(Lattuca, 2020)
Plataforma de Agricultura Urbana PAUL, proyecto "Alimentando Lima desde adentro"	Lima, Perú	Agrícolas	(Calle et al, 2020)
Ecotambo, feria de agricultura comunitaria ecológica.	La paz, Bolivia	Agrícolas	(Cortazar & Mosquera, 2020)
Brooklyn Grange	Brooklyn, USA	Lechugas, tomates, espinacas, coles y zanahorias	(BID, 2020)

Por otro lado, en Colombia se adelantan diferentes iniciativas de AU en Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Popayán y Manizales entre otras, con el objetivo de promover la seguridad alimenticia en algunos sectores de las ciudades (Sanabria et al. 2020), sin embargo, es importante recalcar cual es el apoyo que se brinda por parte de las entidades gubernamentales de la ciudad de Bogotá, debido a que es el lugar donde se llevó a cabo el desarrollo del proyecto.

En resumen, la AU hace parte de las actividades cotidianas de las diferentes sociedades del mundo, de igual manera en el territorio nacional y en la ciudad de Bogotá capital del país se vislumbra el potencial de esta actividad por parte de las

entidades territoriales, con los planes de desarrollo económico social ambiental y de obras públicas para Bogotá desde el año 2004 hasta el día de hoy como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Planes de Desarrollo Distrital De La Ciudad de Bogotá(PDD)

PDD	PERIODO	ACUERDO	PROPOSITO	FUENTE
Bogotá sin Indiferencia	2004-2008	Acuerdo 119 del 2004	<p>Desarrollar una política de seguridad alimentaria entendida como la garantía de acceso y abastecimiento adecuados de alimentos y nutrientes en un horizonte de sostenibilidad.</p> <p>Se promoverán las redes de productores y consumidores y las potencialidades de la agricultura urbana y ecológica como alternativa socioambiental.</p>	(Acuerdo 119, 2004)
Bogotá Positiva	2008-2012	Acuerdo 308 del 2008	Promoción de prácticas de agricultura urbana busca conformar la red de agricultura urbana con 6000 agricultores capacitados.	(Acuerdo 308, 2008)
Bogotá Humana	2012-2016	Acuerdo 489 del 2012	<p>Garantizar la disponibilidad y el acceso físico y económico a los alimentos de la canasta básica con base en la transformación del sistema público de abastecimiento de alimentos a partir del fortalecimiento de la central de abastos, de las plazas públicas de mercado y de redes de asociaciones y emprendimiento de agricultura urbana y periurbana.</p> <p>Fortalecer las redes de agricultores urbanos y las unidades integrales comunitarias de agricultura urbana y periurbana.</p>	(Acuerdo 489, 2012)

Planes de Desarrollo distrital de la ciudad de Bogotá (PDD)

PDD	PERIODO	ACUERDO	PROPOSITO	FUENTE
Un nuevo contrato social y ambiental para el siglo XXI	2020-2024	Acuerdo 761 del 2020	El Distrito Capital priorizara la generación de empleos verdes, que permitan reverdecer espacios y la rehabilitación, recuperación, restauración, reforestación de la estructura ecológica principal, así como, la construcción y operación de viveros, zonas de agricultura urbana, techos verdes y jardines verticales.	(Acuerdo 761, 2020)
			Programa distrital de Agricultura urbana y periurbana. Se promoverá la conformación de huertas orgánicas con prácticas agroecológicas en espacios urbanos institucionales y comunitarios, a través de la implementación de un programa distrital de agricultura urbana, periurbana y rural, articulado a los mercados campesinos, con participación de organizaciones campesinas, que a través de sus estructuras garanticen que el pequeño y mediano productor campesino aporte al intercambio cultural y a la transferencia de conocimientos ancestrales, contribuyendo al proceso de implementación en terrazas, patios de viviendas, balcones de edificios y en huertas de campesinos periurbanos.	

Esto demuestra que el país a avanzando ampliamente en temas relacionados a la agricultura urbana a lo ancho del territorio nacional, sin embargo, a diferencia de otras regiones en las cuales también existen normativas para la construcción de invernaderos en Colombia se cuenta con normativas para estas estructuras así que una de las ventajas radica en no hay muchas restricciones implementar el invernadero solo requiere pedir licencias de construcción. (Montes , 2020)

4. Justificación

En la agricultura a campo abierto existen factores que afectan directamente la producción de biomasa, por citar algunos: condiciones atmosféricas (humedad, luminosidad, viento, temperatura, etc.), el uso excesivo de agua para el riego de los cultivos, grandes extensiones de tierra y sumado a ello los diferentes eventos climáticos que se pueden presentar, como una alternativa de solución la agricultura protegida provee al agricultor de un espacio que minimiza la afectación a los cultivos por parte de los factores anteriormente mencionados. (Suarez Rivero et al., 2016).

La agricultura urbana proporciona alimentos de una gran variedad y buena calidad alimenticia, aumentando la seguridad alimentaria de las familias productoras y de aquellos con quien comercialice el producto obtenido de dicha actividad, lo que finalmente puede ser una oportunidad laboral para aquellas personas que tomen la decisión de desarrollar esto como actividad económica. (FAO, 2019).

La investigación propuesta busca, mediante la recopilación, análisis y aplicación de la información recolectada brindar una alternativa a los procesos agrícolas urbanos con la implementación de tecnologías utilizadas para los procesos automatizados (eléctricas, neumáticas, electrónicas, programación mecánicas, etc.) y sus partes (entradas, salidas, sistemas de control y circuitos de potencia), la agricultura protegida (capilla, parral, túnel, etc.) y la agricultura urbana (zonas de cultivo y material vegetal) en la ciudad de Bogotá Colombia. Lo anterior permitirá al investigador comprobar la viabilidad en una realidad bajo condiciones de agricultura urbana. Y de acuerdo con los objetivos planteados en el proceso de investigación, el resultado permite implementar soluciones concretas que minimicen las afectaciones en el crecimiento del material vegetal con la agricultura urbana.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Establecer un sistema automatizado para la agricultura urbana protegida que permita la producción de forma sostenible en contextos urbanos.

5.2 Objetivos Específicos

- Identificar bajo las condiciones de agricultura urbana las variables para el diseño de un prototipo de ambiente controlado en espacios reducidos.
- Estructurar el automatismo que permita el estudio de variables de crecimiento y desarrollo del cultivo.
- Evaluar técnicamente la viabilidad de la aplicación del prototipo bajo las condiciones de agricultura urbana.

6. Metodología

Se selecciono una metodología cuantitativa que permite bajo el modelo secuencial y probatorio, plantear el establecimiento de un sistema automatizado de aplicación agrícola, en el que se incluyeron tipos de metodologías capaces de establecer etapas de formulación, a partir de análisis, descripción, experimentación y evaluación, que mostro una posibilidad de producción agrícola en contextos urbanos bajo sistemas protegidos.

En ese sentido y la definición de las etapas, se plasmó una descripción grafica en la figura 4 para la realización del proyecto como tal, lo cual permitió ordenar de forma secuencial las diferentes actividades necesarias para poder cumplir con los objetivos planteados, los cuales también definen un guía de desarrollo como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Desarrollo Metodológico

Fase	Objetivo	Metodología	Como se logra el objetivo, secuencia de actividades.	Resultados
1	<ul style="list-style-type: none"> Identificar bajo las condiciones de agricultura urbana las variables para el diseño de un prototipo de ambiente controlado en espacios reducidos. 	Analítica.	Se seleccionan variables para la elaboración de hipótesis, que permitan definir la interacción de las variables en proceso de diagnóstico y definición frente al comportamiento agrícola, y su identificación referente a sistemas agrícolas protegidos que concedan determinar los procedimientos de desarrollo en contextos protegidos, con aplicación sensorica que facilitan la incidencia de material vegetal y su crecimiento.	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización de la documentación existente en términos agrícolas y de aplicación tecnológica. Definición del cultivo a realizar.

Desarrollo metodológico

Fase	Objetivo	Metodología	Como se logra el objetivo, secuencia de actividades.	Resultados
1		Descriptiva	Se establece un proceso de caracterización del entorno actual desde las variables que intervienen en el proceso de conformación de un proceso agrícola, a partir de experiencias de sistemas protegidos para la producción del cultivo seleccionado.	<ul style="list-style-type: none"> Selección y caracterización de variables.
2	•Estructurar el automatismo que permita el estudio de variables de crecimiento y desarrollo del cultivo.	Experimental	Desarrollo del entorno de producción a partir de la descripción de características mínimas necesarias para la protección del material vegetal y sus diversas formas de diseño, así mismo la aplicación de tecnologías apropiadas para el seguimiento de plántulas en ambientes controlados, lo que codujo a categorizar el comportamiento de crecimiento y control de algunos ejemplares, mediante tecnología sensórica El estudio de los sistemas agrícolas y el estudio de los sistemas agrícolas protegidos.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño del sistema protegido a partir de las condiciones des espacio disponible. - Selección de las tecnologías apropiadas para el seguimiento y control de las semillas a cultivar. - Diseño de sistema hidráulico para el riego por goteo. - Diseño del sistema electrónico acorde a las condiciones del del ambiente construido. - Desarrollo de código de programación acorde a las condiciones electrónicas y de riego que permitieron el control del sistema protegido.

Desarrollo metodológico

Fase	Objetivo	Metodología	Como se logra el objetivo, secuencia de actividades.	Resultados
3	<ul style="list-style-type: none"> •Evaluar técnicamente la viabilidad de la aplicación del prototipo bajo las condiciones de agricultura urbana. 	Evaluativa.	Observación y seguimiento a los procesos de crecimiento de las semillas y los controles que proporcionan diversos datos, que nos facilitó establecer una predicción de producción, calidad y consumo, lo cual definió las caracterizar ventajas y desventajas de los ambientes controlados bajo estas condiciones específicas de control y seguimiento en términos tecnológicos.	-Determinación de parámetros de medición para cada etapa, y su influencia en proceso de crecimiento de las plántulas acorde a la producción de sistemas agrícolas protegidos en cultivos transitorio del rábano.

6.1 Ubicación Y Espacio Del Estudio

El tiempo estimado para la elaboración del proyecto transcurrió durante un periodo de 11 meses, dando inicio el día primero de abril del año 2020 hasta el día primero de marzo del año 2021, y el espacio seleccionado para la implementación fue en la localidad de Kennedy al sur de la ciudad de Bogotá ubicado en las coordenadas 4°38'41.7"N 74°08'19.7"W.

Adicional se tuvo en consideración que por la ubicación geográfica de la ciudad se cuenta con un régimen de 175 días de lluvia al año, una temperatura media anual de 14.9 °C, máxima media de 20.1 °C mínima media de 7.8°C, brillo solar de 4.3 horas al día y una humedad relativa de 78% (IDEAM, 2020).

6.2 Material Vegetal

Dentro de los diferentes productos que se cultivan en espacios urbanos se encuentran las hortalizas, dado que, el rábano es una hortaliza y por sus características de cultivo, propiedades nutritivas, farmacéuticas y sus altos

contenidos de agua, vitaminas y minerales y sumado a esto, que, se puede cultivar dentro de invernaderos para obtener producción en diferentes épocas del año, por consiguiente, se presentó como una excelente opción de cultivo durante su primera etapa de crecimiento para la evaluación técnica del prototipo.

En este caso se adquirieron las semillas directamente con Semicol S.A.S. las cuales cuentan con las características que se describen en la Tabla 7 y con los requerimientos de cultivo extraídos del sobre en el cual venían contenidas las semillas.

Tabla 7

Ficha Técnica Rábano semicol

Pureza	Germinación	Peso neto	Clima	Procedencia
97%	80%	5,00 gr	Medio / frío	USA

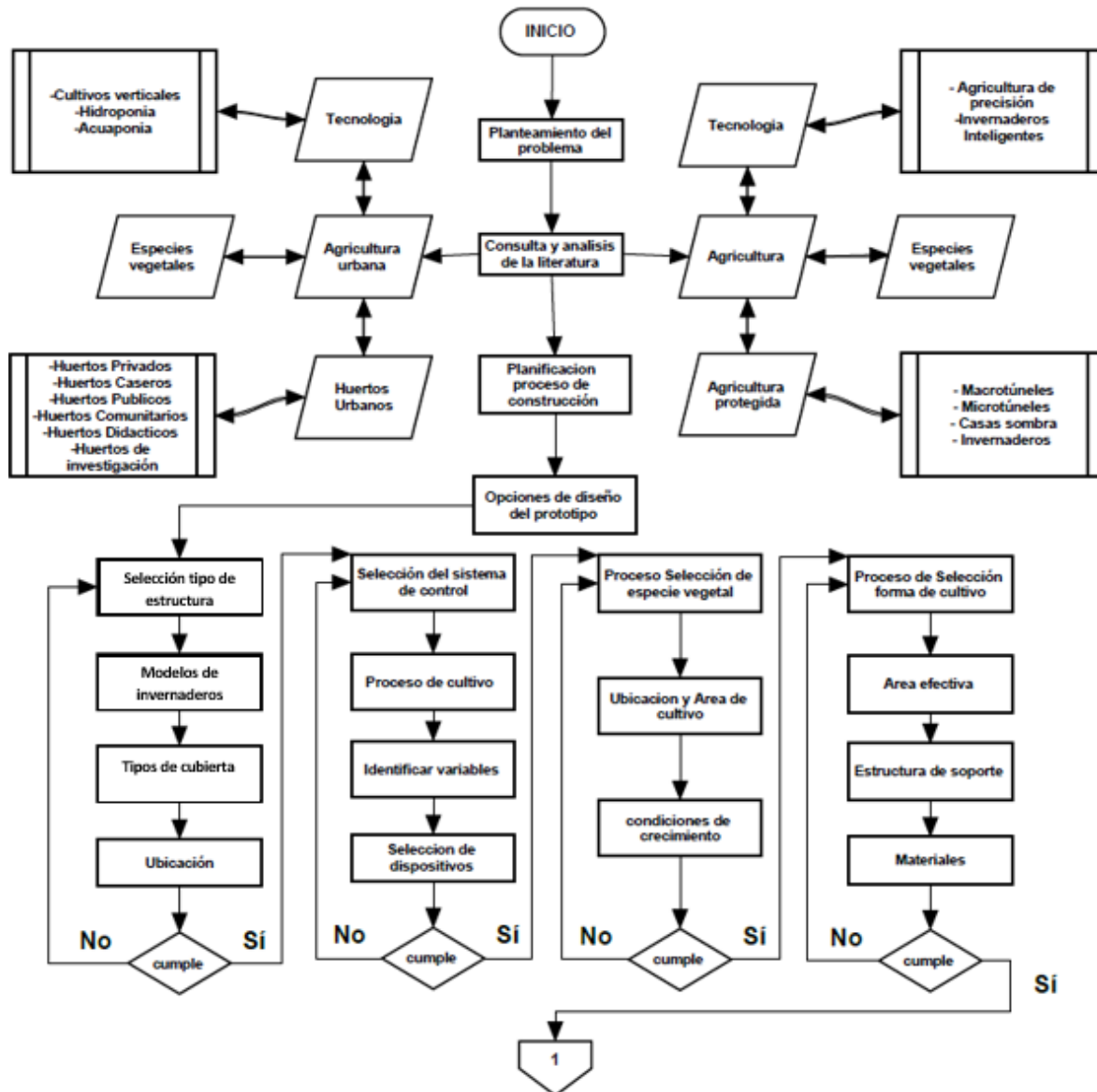
Nota: Tomado de (SEMICOL SAS, 2021)

6.2.1 Tecnológicos

En este caso fue importante identificar cuáles son las operaciones necesarias, a fin de, proporcionar un control climático adecuado durante el proceso de cultivo, para un óptimo desarrollo del material vegetal seleccionado, con el fin de poder seleccionar los dispositivos de control y los respectivos actuadores que se podían adaptar de mejor manera en la estructura para el sistema de regulación automático de ambiente en el prototipo, también, se tuvo en cuenta las dimensiones del modelo del invernadero para seleccionar los dispositivos indicados y hacer una correcta distribución de ellos en su interior.

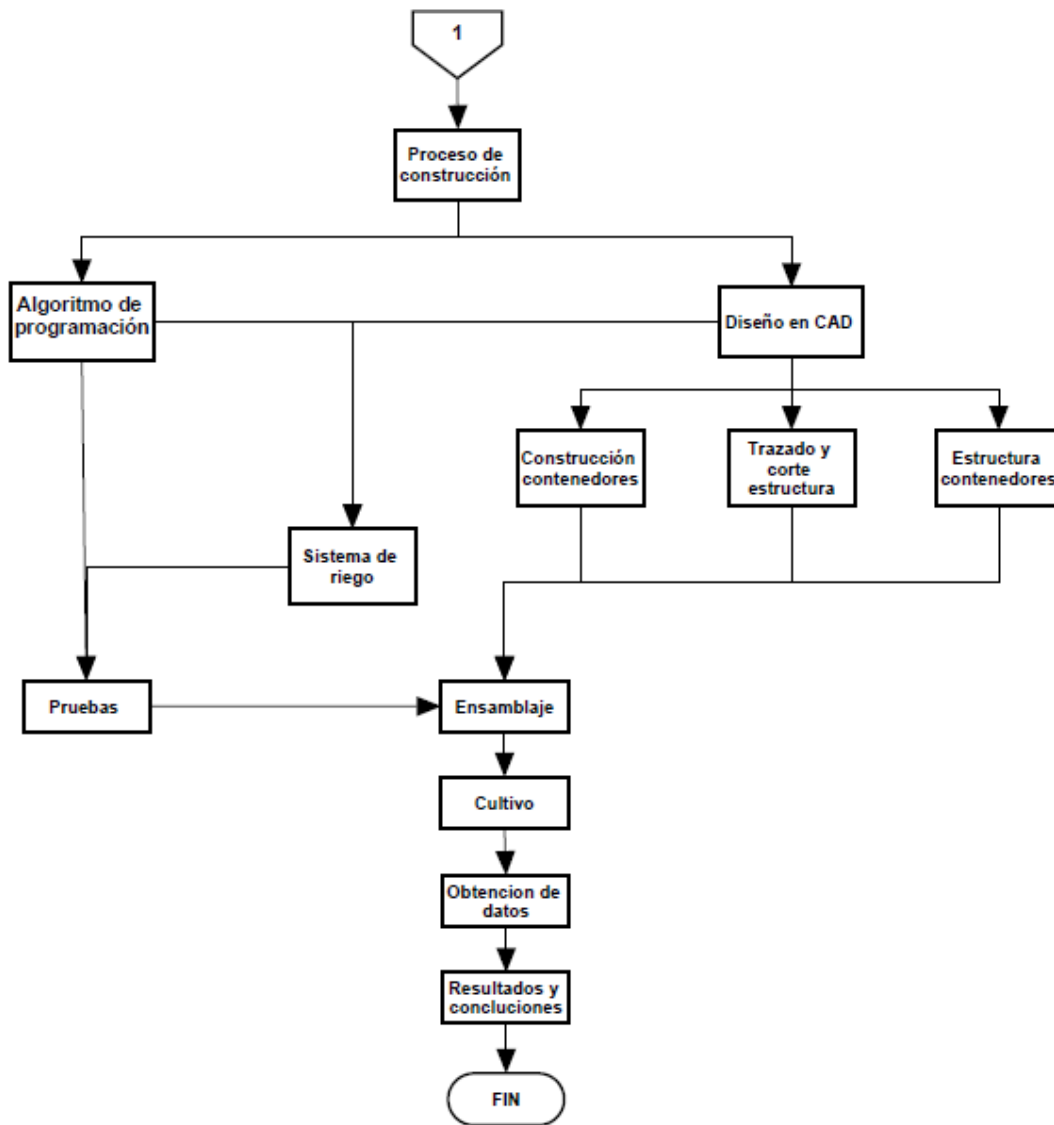
Figura 4

Proceso de Construcción Del Prototipo



Nota: Paso a paso construcción y ejecución del prototipo (Análisis y diseño). Propio

Proceso de construcción del prototipo.



Nota: Paso a paso construcción y ejecución del prototipo (Construcción e implementación). Propio

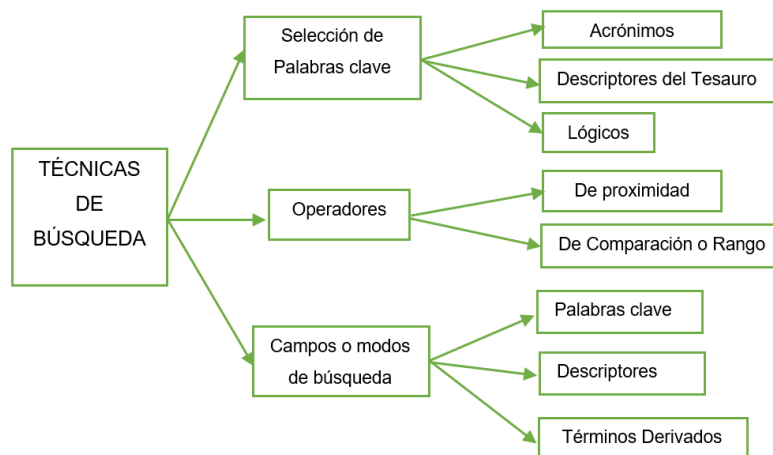
7. Resultados Y Discusión

7.1 Identificación Bajo Las Condiciones De Agricultura Urbana De Las Variables Para El Diseño De Un Prototipo De Ambiente Controlado En Espacios Reducidos

Para el proceso de caracterización de la documentación encontrada se tomó en cuenta cada parámetro que ha sido relevante, para entender la necesidad de diseño, construcción y producción de rábanos bajo la aplicación de tecnologías para procesos de seguimiento y control de procesos agrícolas, en cuyo caso se han desarrollado, diversidad de investigaciones, para mejorar la contribución de la agricultura, al desarrollo y aporte al bienestar social, los cuales determinan conceptos y parámetros que entrelazan palabras claves los cuales permiten definir uno o más operadores de búsqueda que articulan la relación entre ellas y que en definitiva, condujo a utilizar la intermediación entre la diversidad de parámetros propios de la investigación agrícola y definió la oportunidad investigativa bajo parámetros metodológicos que permiten la estructura definida en la Figura 5:

Figura 5

Parámetros de Búsqueda



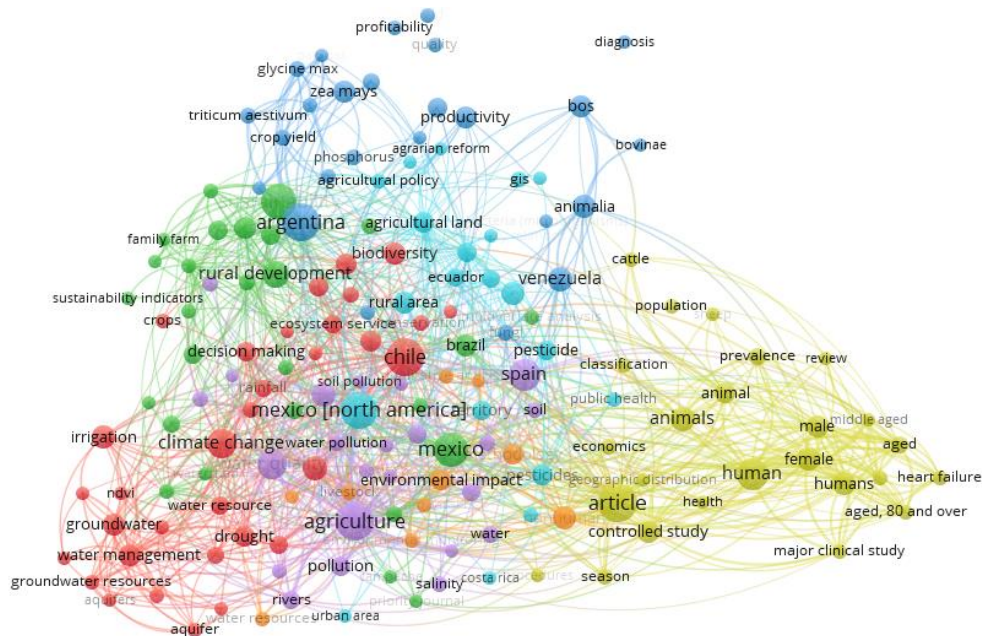
Para la búsqueda de información se tuvieron en cuenta 4181 resultados de bases de datos como: Proquest, Science Direct, Scopus y algunos resultados de

Google scholar, y se reseñaron diversidad de documentos como: Artículos de revistas, trabajos de investigación, libros, trabajos de grado de pregrado y posgrado, folletos, información de empresas, grabaciones entre otros. Para lo cual se identificó documentos relacionados a procedimiento agrícolas unos 16 resultados, relacionados con el uso de semillas, pero no de rábanos, en términos agrícolas, unos 26, ubicados en aplicación de tecnologías a la agricultura unos 517 definidos con términos relacionados a control de ambientes agrícolas.

Para tener una visión periférica, se tuvieron en cuenta matrices en Excel, con la aplicación del software VOSviewer, el cual, mediante la aplicación de filtros y las relaciones descritas anteriormente, muestra posibles clúster de relación del tema en cuestión como se observa en la Figura 6.

Figura 6

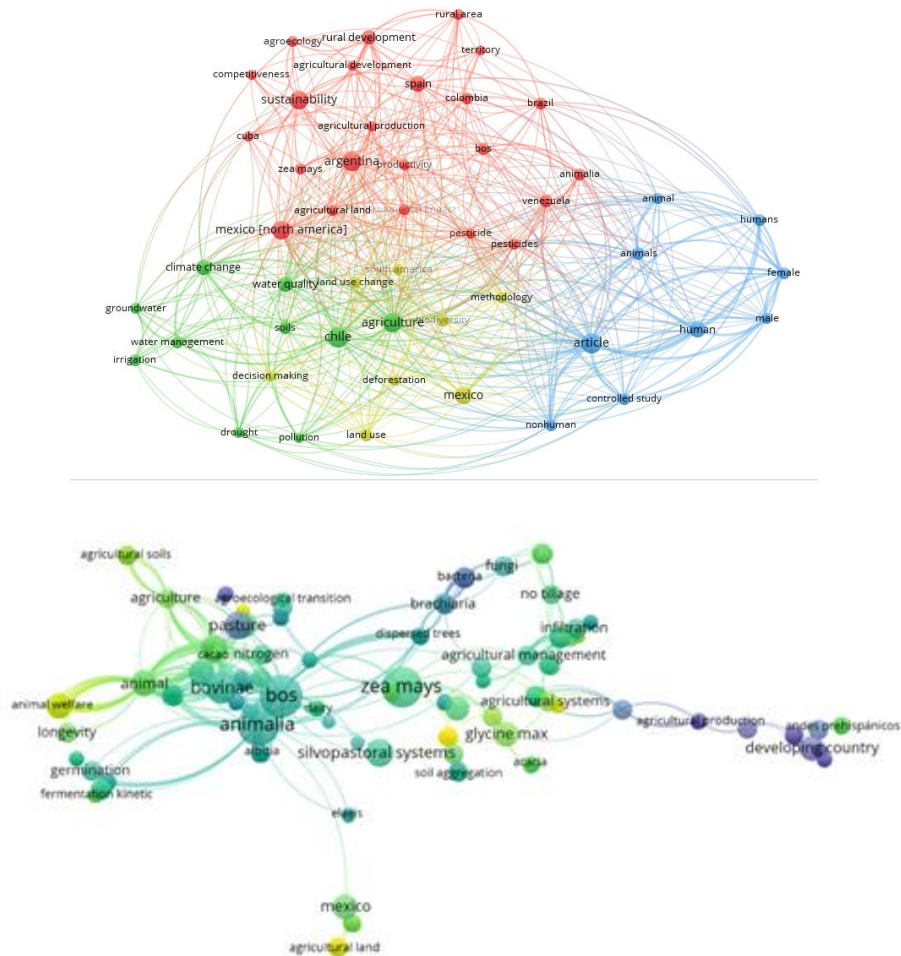
Consulta de Bases De Datos



Pues bien, esta identificación, nos muestra un desarrollo investigativo en torno a la producción agrícola o el manejo de los ecosistemas bajo los mismos propósitos, aunque cada vez que requerimos de mayor precisión va reduciéndose la incidencia de investigaciones relacionales., tal como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Consulta de Base De Datos 2



Cada una de las identificaciones permitió la categorización que están definidas acorde a la revisión consecutiva de la información obtenida en las fuentes bibliográficas y transversal que consintió la comparación de las fuentes a partir de las categorías aplicadas para identificar las repeticiones, vacíos, confirmaciones, ampliaciones, falencias indagación determinadas en:

- Caracterización de cultivos transitorios.
- Tecnologías de la información con aplicación en procesos agrícolas.
- TIC Y BIG data para procesos agrícolas.
- Sistemas de control para procesos agrícolas.

- Evaluación de sistemas agrícolas.

Igualmente se tuvieron en cuenta parámetros de afectación en los procesos agrícolas como:

- Análisis tecnológico y su influencia en el desarrollo agrícola.
- El cambio climático y sus impactos en los procesos agrícolas.
- Avances tecnológicos y su aplicación en Colombia.

Cada uno de estos temas fueron fundamentales para hacer un examen del contexto y establecer la viabilidad el estudio que se propone, para lo cual adicionalmente se tuvo en cuenta la identificación evolutiva de la agricultura y su desarrollo evolutivo mundial, aterrizando finalmente en nuestro contexto nacional.

7.1.1 Elementos Climáticos

Dentro de los diferentes elementos climáticos que pueden afectar el microclima que se deseaba crear en el interior de la estructura cerrada para la producción agrícola cubierta de rábano, se tuvo en cuenta que, para un apropiado ciclo de cultivo del material vegetal es necesario un control efectivo del microambiente del sitio de siembra del cultivo, durante un periodo continuo de 20 a 30 días de tiempo de cosecha (Goites , 2012), si se dejan mayor cantidad de tiempo suelen endurecerse y perder el sabor, el desarrollo vegetativo se encuentra entre los 6°C a 30°C con un óptimo de temperatura entre los 20°C y 25°C. Se adapta a casi cualquier tipo de suelo que cuente con características como: con un pH neutro entre 5,5 y 6,8 con suelos arenosos y muy buen drenaje, con un alto porcentaje de humedad. (Izquierdo & Granados , 2011).

7.1.2 Variables Para La Construcción De Un Invernadero.

Para el desarrollo de sistemas de producción agrícola en espacios urbanos se tiene en cuenta la zona de producción en la cual se puede desarrollar el cultivo (en el interior o exterior de la vivienda, superficie blanda o dura),y sumado a esto, pueden verse afectados por diversos factores ambientales, de ahí que, la

implementación de cubiertas para la protección de los cultivos con estructuras, unas más complejas que otras, con mayor o menor capacidad de control de variables, es una decisión acertada con el fin de, proteger y obtener como resultado el desarrollo del cultivo como una actividad económica, académica, o cultural más eficiente.

De hecho, son factores que intervienen de forma directa tanto para el desarrollo del material vegetal que se desea cultivar, como para la construcción del invernadero. Estos pueden ser: temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad del suelo, dirección y velocidad del viento, tipo de espacio, fuente de abastecimiento hídrico. Según Jaramillo et al. (2007) una de las claves para el éxito en un cultivo de invernadero son las condiciones de luminosidad, temperatura y humedad, adicional a esto, la renovación de aire mediante la ventilación es la técnica más utilizada para controlar la temperatura y la humedad en un invernadero (Maroto, 2014),

En vista de lo mencionado se decidió que, para este caso puntal con relación al proceso de cultivo se seleccionaron como variables controladas la humedad de la tierra, temperatura ambiente y humedad relativa en el interior de la estructura, como variables manipuladas cantidad de agua suministrada y la ventilación en la estructura.

7.2 Estructuración Del Automatismo Que Permita El Estudio De Variables De Crecimiento Y Desarrollo Del Cultivo

La simulación e implementación de un automatismo debe ser soportado por un diseño estructural y/o mecánico apropiado, según sea el caso, se debe hacer la selección de los elementos con los que se hace la construcción con respecto a la estructura para el diseño del prototipo, así mismo, se considera que los sistemas modernos de automatización utilizan herramientas informáticas en todas las fases de los procesos incluyendo la fase de diseño en las que se utilizan el diseño asistido por computador (CAD) (Barrientos & Gambao, 2014), con base en lo anterior se tuvieron en cuenta los factores de la Tabla 8:

Tabla 8
Factores de Diseño Estructural

Factor	Opción
El material de la estructura.	<input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Acero <input type="radio"/> Aluminio <input type="radio"/> Hierro
El material de cubierta.	<input type="radio"/> Polietileno <input type="radio"/> Vidrio <input type="radio"/> Acrílico <input type="radio"/> Policarbonato
La geometría.	<input type="radio"/> Rectangular <input type="radio"/> Gótica <input type="radio"/> Cilíndrica <input type="radio"/> Triangular <input type="radio"/> Asimétrica
El software de diseño estructural	<input type="radio"/> AutoCAD <input type="radio"/> SolidWorks <input type="radio"/> Inventor <input type="radio"/> Catia <input type="radio"/> Rhinoseros

Nota: Fuente Propia

Se tomaron en cuenta las ventajas y desventajas que aporta cada una de las geometrías ya establecidas que se implementan actualmente en la construcción de invernaderos, cuál era el material que cumplía con las condiciones apropiadas para soportar el recubrimiento de la estructura, el material de cubierta y finalmente hacer los planos iniciales en AutoCAD, un software con el que se pudo trabajar en ese momento ya que se contaba con las licencias y el conocimiento para desarrollar el modelo del prototipo, pero los planos definitivos se hicieron con SolidWorks.

7.2.1 Estructura

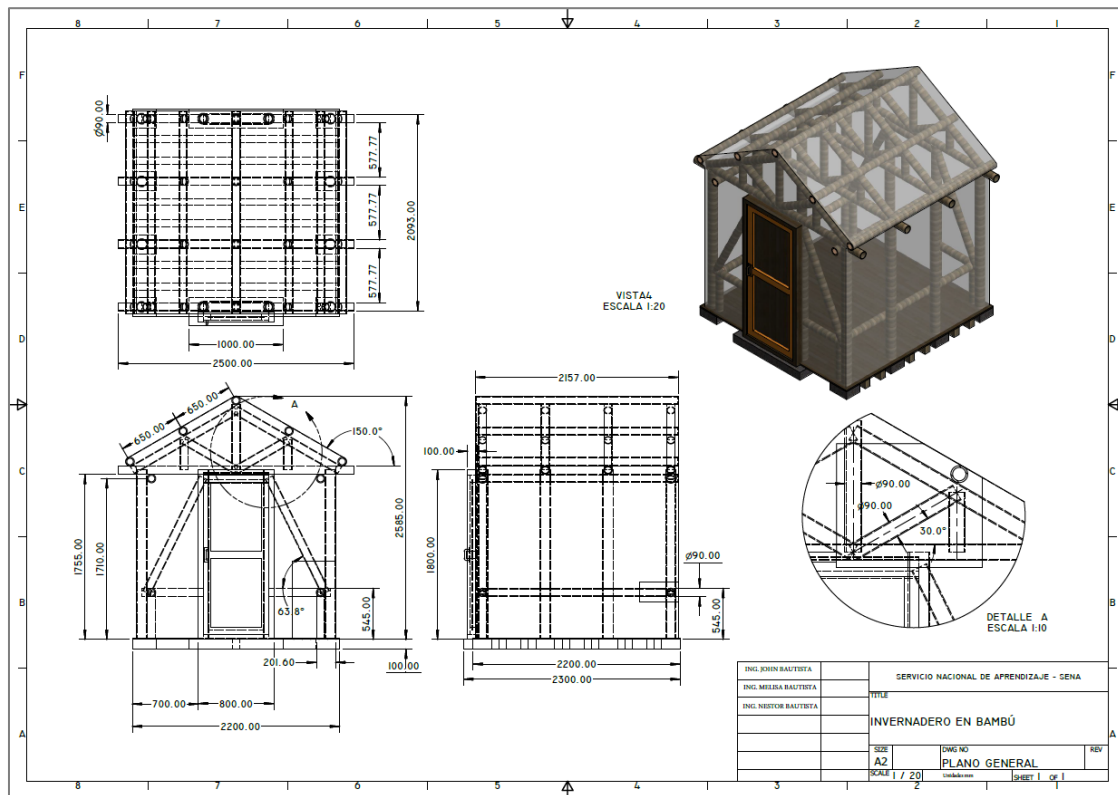
Como se mencionó con anterioridad existen diversas formas para la construcción de invernaderos y al residir en el espacio urbano se facilita el acceso

a diferentes materiales e insumos de construcción que se puede tener a disposición para la implementación del diseño final, por ende, se optó por elaborar tres modelos con diferentes materiales de construcción y de cubierta, finalmente se seleccionó el que mejor se acomoda a un diseño de tipo modular y a los factores de control para la realización de agricultura urbana en la ciudad.

Cada modelo de invernadero cuenta con particularidades propias de su diseño y como resultado se establecen las tres opciones de diseño estructural, el de capilla con características como: pocos obstáculos en su estructura, buena ventilación, buena estanqueidad a la lluvia y al aire, permite la instalación de ventilación cenital, así como ventilación perimetral, buen reparto de la luminosidad en el interior y fácil instalación (NOVAGRIC, 2020), bajo estas condiciones se selecciona la primer opción de diseño que se muestra en el plano de la figura 8.

Figura 8

Plano Opción N°1

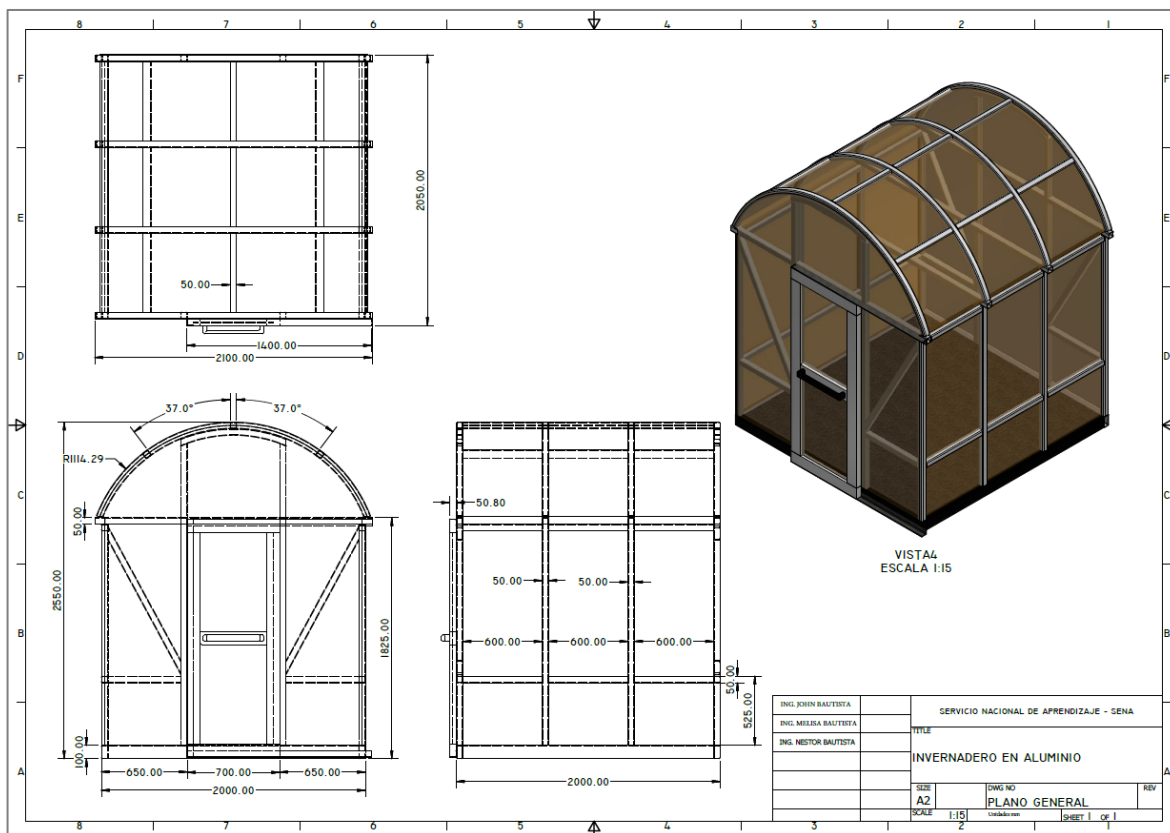


Nota: Plano invernadero N°1 Material bambú, plástico, geometría tipo capilla software AutoCad. Propio.

Por otro lado, el invernadero de semitúnel que cuenta con características como: es de bajo costo y sencillo, ofrecen una mejor capacidad de control del clima, permite la instalación de sistemas de climatización, mayor capacidad de estanqueidad, buen reparto de la luminosidad en el interior, reduce considerablemente el problema de la condensación y el goteo del agua en los cultivos debido a la cubierta curva, favorece la evacuación hacia las paredes del agua proveniente de la condensación en la cubierta y su montaje fácil y rápido, (NOVAGRIC, 2020), bajo estas condiciones se selecciona la segunda opción de diseño que se muestra en el plano de la figura 9.

Figura 9

Plano Opción N°2



Nota: Plano invernadero N°2 material aluminio, vidrio, geometría semicilíndrico software AutoCad. Propio.

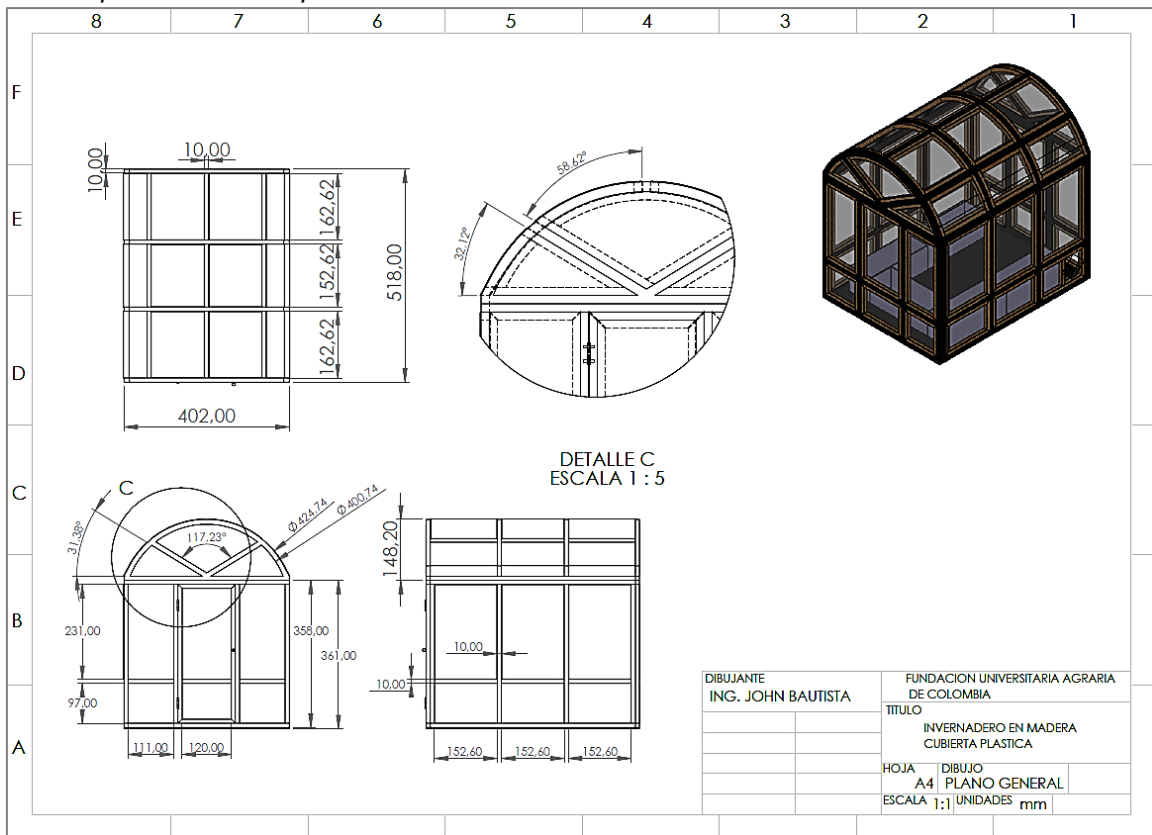
Finalmente se optó por la geometría con las características que se acomodan a una mejor capacidad de control, además, la estructura se adapta a un sistema que se puede construir de forma modular, posee una mayor adaptabilidad al espacio residencial con zona blanda o dura, en interiores o exteriores y sobre todo se puede instalar la tecnología seleccionada para la implementación del sistema de control de clima, adicional.

Se seleccionaron como materiales de construcción, madera para la estructura porque es fácil de conseguir y de trabajar adicional es menos costoso que las de acero (Castilla, 2007), plástico para la cubierta ya que es ligera y flexible permite una buena distribución de la luz y puede retener durante la noche el 85% del calor almacenado en el día, impide el paso de la lluvia, plagas y reproduce las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento de la planta (Borbon Morales & Arvizu Armenta, 2015) . Con geometría cilíndrica en el techo de la estructura.

En definitiva, teniendo en cuenta que los invernaderos semicilíndricos facilitan la ventilación, distribuyen de mejor manera la iluminación y mantienen una temperatura uniforme en el interior de la estructura como ya se mencionó con anterioridad, se seleccionó el modelo que corresponde al plano que se muestra en la Figura 10 para la construcción del prototipo, donde, en las vistas del plano se muestra en detalle cada una de las dimensiones de las partes que lo componen, adicional, se muestra en vista isométrica el prototipo en colores para diferenciar los paneles “color café” de la estructura “color negro”, de igual forma se pinta el resultado final como se muestra en la imagen de la Figura 11.

Figura 10

Plano Opción N°3 Prototipo Modular



Nota: Plano prototipo, materiales madera, plástico, geometría elíptica en la cubierta superior software SolidWorks

Figura 11

Modelo Isométrico y Resultado Final



Nota: Estructura final construida. Propio.

De acuerdo con el proceso que se lleva a cabo para la construcción del invernadero se utilizó el dimensionamiento establecido en la etapa de diseño, como referencia para identificar las variables que se deben tener en cuenta para calcular y determinar la cantidad de material a utilizar en la cubierta del prototipo:

- a. Longitud
- b. Altura
- c. Profundidad.

Adicional a esto se presentan los cálculos que se realizan en cada diseño establecido, los cuales corresponden a la geometría señalada para cada uno de ellos:

Para calcular el área de la cubierta para el invernadero de tipo elíptico se utilizó la ecuación (1) y para el tipo capilla se utilizó la ecuación (2), para el área de la superficie del suelo en la cual se construye el invernadero se utilizó la ecuación (3) para todos los casos, en el caso del cálculo del volumen se tuvo en cuenta al igual que con la cubierta la geometría del invernadero, para el elíptico se utilizó la ecuación (4) y para el de tipo capilla la ecuación (5).

$$A_{CI} = 2H_1(L + W) + \frac{\pi}{2}wH_2 \left[(1.5W + 3H_2) - \sqrt{(1.5W + H_2)(0.5W + 3H_2)} \right] L \quad (1)$$

$$A_{CI} = 2H_1(L + W) + WH_2 + 2L\sqrt{(0.25W^2 + (H_2)^2)} \quad (2)$$

$$A_I = W * L \quad (3)$$

$$V_I = LWH_1 + \frac{\pi}{4}LWH_2 \quad (4)$$

$$V_b = LWH_1 + 0,5LWH_2 \quad (5)$$

Los resultados de los cálculos realizados con las ecuaciones para cada diseño se muestran en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9*Cálculos del área de la Cubierta y Volumen diseño Invernadero Tipo Capilla*

Variable	Símbolo	Cantidad	Unidad
Ancho Invernadero	W	2,2	m
Largo Invernadero	L	2,3	m
Altura desde el suelo hasta la base del techo	H_1	1,75	m
Altura desde la base del techo al extremo superior	H_2	0,83	m
Área Invernadero	A_I	5,06	m^2
Área de la cubierta del invernadero	A_{CI}	23,9148267	m^2
Volumen del invernadero	V_I	10,9549	m^3

Tabla 10*Cálculo del área de la cubierta y volumen diseño invernadero semicilíndrico*

Variable	Símbolo	Cantidad	Unidad
Ancho Invernadero	W	2	m
Largo Invernadero	L	2	m
Altura desde el suelo hasta la base del techo	H_1	1,825	m
Altura desde la base del techo al extremo superior	H_2	0,725	m
Área Invernadero	A_I	4	m^2
Área de la cubierta del invernadero	A_{CI}	22,3313892	m^2
Volumen del invernadero	V_I	9,57765467	m^3

Tabla 11*Cálculos área de la Cubierta y Volumen del Prototipo*

Variable	Símbolo	Cantidad	Unidad
Ancho Invernadero	W	0,402	m
Largo Invernadero	L	0,5178	m
Altura desde el suelo hasta la base del techo	H_1	0,361	m
Altura desde la base del techo al extremo superior	H_2	0,1482	m
Área Invernadero	A_I	0,2081556	m^2
Área de la cubierta del invernadero	A_{CI}	1,04332841	m^2
Volumen del invernadero	V_I	0,09937265	m^3

Con el diseño establecido se obtiene el despiece del modelo y se procede al corte de cada una de las partes que componen la estructura inferior (pared frontal, posterior y las laterales) y superior (cubierta elíptica) tabla 12, ya que la estructura debe dar soporte a los paneles curvos, planos, los actuadores y parte del cableado.

Tabla 12

Proceso de corte y ensamblaje estructura

Proceso	Parte	Imagen	Fuente
corte	estructura inferior		Resultado del proceso de Investigación
	estructura superior		Resultado del proceso de Investigación
ensamble	estructura inferior		Resultado del proceso de Investigación
	estructura superior		Resultado del proceso de Investigación
	paneles		Resultado del proceso de Investigación
	Estructura superior, inferior y paneles		Resultado del proceso de Investigación

Con las partes inferior y superior armadas se hizo el ensamblaje de la estructura, conjuntamente, los paneles planos y curvos se recubrieron con el material plástico y se ensambló la estructura con los paneles desmontables.

7.2.2 Sistema De Control

Recuérdese que, para el sistema de control es necesario poder interpretar la variabilidad del microclima dentro de los parámetros establecidos, debido a, que existen diversos dispositivos electrónicos capaces de organizar y procesar información obtenida por los elementos conectados a sus entradas de las magnitudes físicas presentes en el medio, para entregar una respuesta a las posibles perturbaciones según sea la lógica de programación desarrollada, que permita el funcionamiento automático del proceso mediante las señales entregadas en las salidas para la activación de los actuadores correspondientes de restablecer las condiciones del microclima dentro del prototipo. Si analizamos la relación costo beneficio para el desarrollo de proyectos de automatización o de control electrónico en términos de accesibilidad a la tecnología, los conocimientos técnicos especializados que se deben poseer, el consumo de energía, la cantidad de entradas y salidas en el dispositivo, en consecuencia, la opción más viable para el desarrollo de mi proyecto radica:

- El bajo costo de los dispositivos en el mercado.
- Posee un entorno de programación (IDE) amigable y de fácil aprendizaje para cualquier persona sin necesidad de conocimientos previos en lenguajes de programación.
- Lenguaje de alto nivel basado en C/C++.
- Conjuntos de funciones e instrucciones para la manipulación de componentes como sensores. (Lopez, 2016)
- Mayor flexibilidad
 - o No es necesario mantenerlo conectado a un computador para que se ejecute el código de control.

Figura 13*ID Arduino*

```

codigo_proyecto_maestria_3.ino
1  #include<SimpleDHT.h>
2  #define SensorT1 7
3  #define SensorT2 8
4  #define led1 2
5  #define led2 3
6  #define led3 4
7  #define led4 5
8  #define bomba 9
9  #define ventilacion 10
10 SimpleDHT11 sensor1;
11 SimpleDHT11 sensor2;
14   pinMode(SensorT1, INPUT);pinMode(SensorT2, INPUT);
15   pinMode(bomba, OUTPUT);digitalWrite(bomba,HIGH);pinMode(ventilacion,OUTPUT);digitalWrite(ventilacion,HIGH);
16   pinMode(led1,OUTPUT);digitalWrite(led1,LOW);pinMode(led2,OUTPUT);digitalWrite(led2,LOW);
17   pinMode(led3,OUTPUT);digitalWrite(led3,LOW);pinMode(led4,OUTPUT);digitalWrite(led4,LOW);
18   Serial.begin(9600);
19   Serial.println("\t\tInicializacion del sistema\n");
20 }

```

Nota: Definición de variables sensores DTH11 y sensores de humedad en tierra

7.3 Condiciones De Control

7.3.1 Sistema De Riego

Todos los cultivos necesitan absorber el agua necesaria y de buena calidad para su debido crecimiento y desarrollo, en consecuencia, el fluido para el riego se tomó directamente del sistema de distribución de agua de la empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB-E.S.P. que garantiza la calidad del fluido con las certificaciones sanitarias de calidad de agua emitida para el año 2020 y el primer semestre del 2021 con un concepto sanitario favorable para los periodos mencionados.

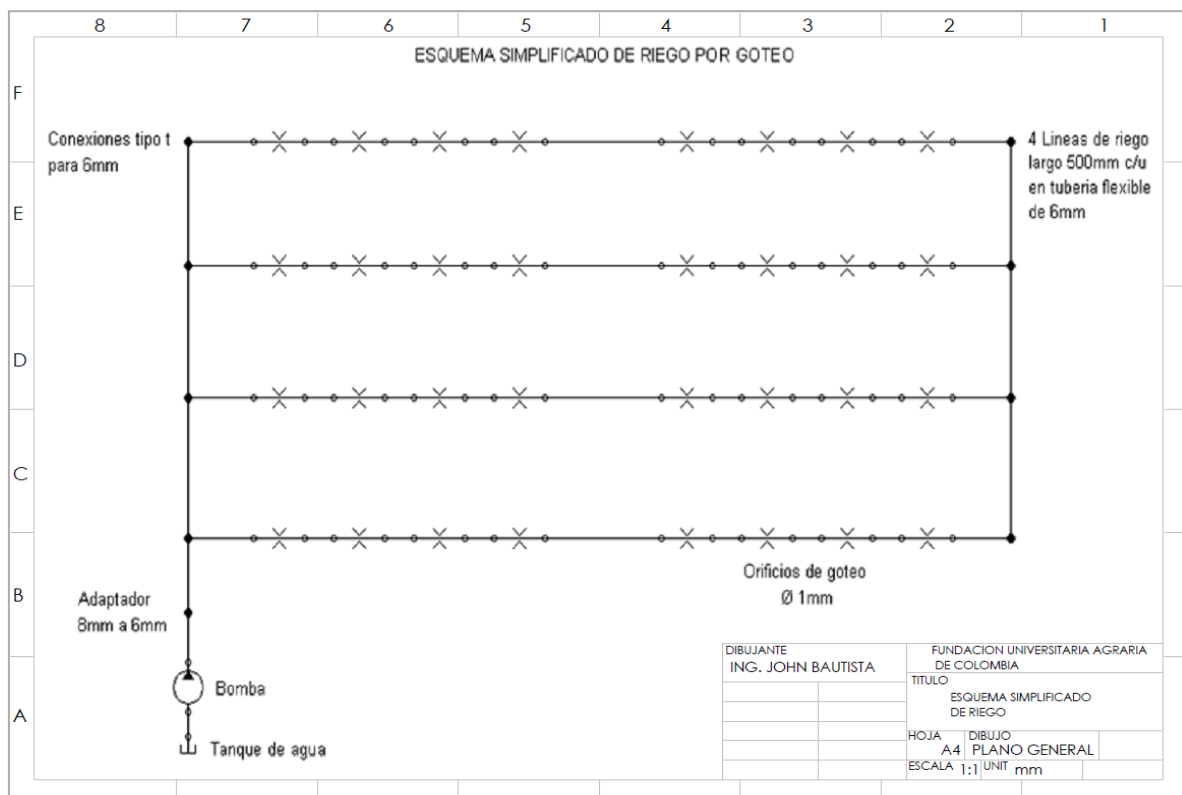
Por otro lado, ya con el esquema hidráulico diseñado para el sistema de riego como se ve en la Figura 14, se utilizó tubería flexible de 6mm para su construcción y se perforo con agujeros de 1mm de diámetro para el goteo como se muestra en la Figura 15(a), y se estableció como variable controlada la humedad de la tierra y variable manipulada el suministro de agua.

Para este caso el control se hizo a través de la cantidad de agua suministrada al suelo, por medio del sistema de riego Figura 15, con un control automático

gobernado y supervisado por un microcontrolador (Arduino) y sus respectivos instrumentos de medición debidamente enterrados en la tierra como se observa en la Figura 15(b)(sensores YL100 para humedad de tierra), los cuales son responsables de interpretar el cambio de humedad en el área de cultivo y suministrar el fluido según el código de programación, en la Figura 15 se muestra los sensores de humedad de tierra en conjunto con el sistema hidráulico de tubería flexible para el riego por goteo ya en el interior del prototipo.

Figura 14

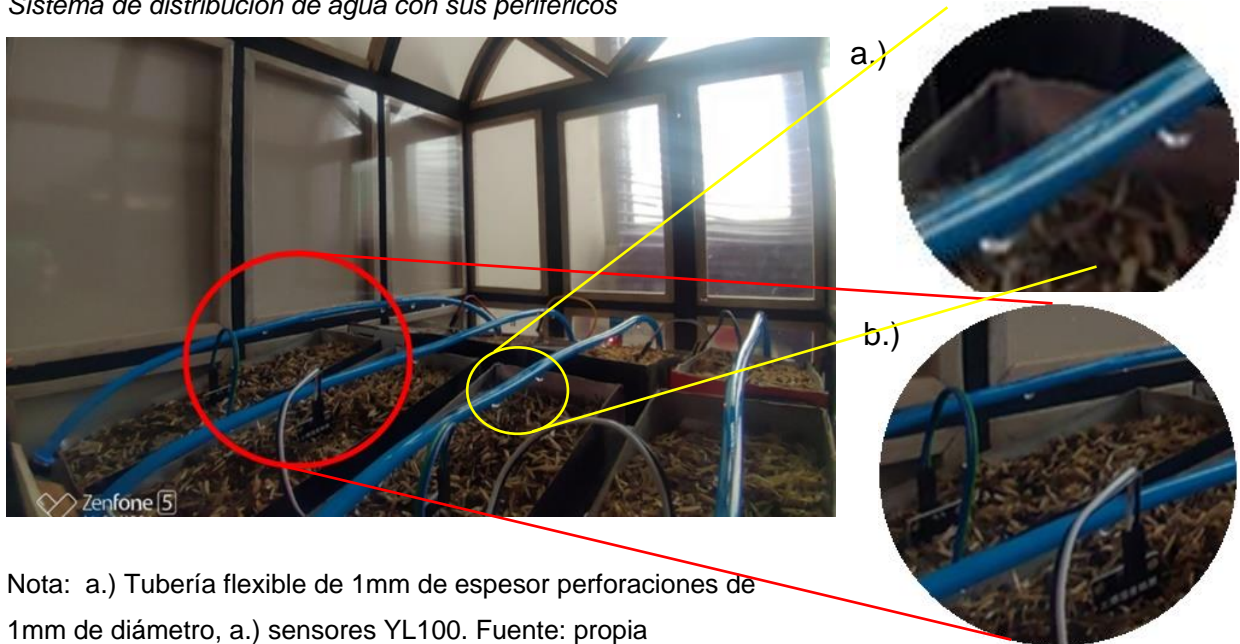
Esquema Hidráulico de riego



Nota: Plano hidráulico del prototipo. Esquema simplificado de riego por goteo, Fuente propio.

Figura 15

Sistema de distribución de agua con sus periféricos



Nota: a.) Tubería flexible de 1mm de espesor perforaciones de 1mm de diámetro, a.) sensores YL100. Fuente: propia

7.3.2 Ventilación Del Prototipo

La ventilación en un espacio cerrado tiene la finalidad de renovar el aire para proporcionar condiciones de confort en este caso en el interior del prototipo y es de suma importancia para las funciones vitales de los seres vivos.

El sistema de control, según la necesidad establecida, afecta la regulación de temperatura y humedad por medio de la ventilación forzada, como resultado se obtiene un proceso en el cual se lleva a cabo un intercambio de aire solo cuando la temperatura excede los valores máximos de elevación, para lo que se estableció como variable controlada la temperatura y humedad relativa, y como variable manipulada la renovación de aire, esto mediante la activación de dos ventiladores, uno que se encarga de suministrar aire al invernadero y el otro encargado de extraer el aire del invernadero con finalidad de que haya circulación de aire controlado, sin la necesidad de que exista la apertura de una ventana o puerta.

Tabla 13*Ficha técnica del ventilador*

Características técnicas	
Alimentación	12 voltios
Dimensiones	60 * 60 * 20 mm
Velocidad	3500 rpm
Flujo de aire	13,8 CFM
Presión de aire	2,87 mmH2O

Nota: (MAX-FLOW, 2021)

Con los datos técnicos del ventilador que se muestran en la Tabla 13 y el volumen del invernadero calculado anteriormente se pudo establecer cuál es la cantidad máxima de renovaciones de aire por hora que se pueden llevar a cabo dentro del prototipo con este tipo de ventilador, teniendo en cuenta la consulta de bibliografía se sugieren renovaciones por hora diferentes, entre 40 y 60 (Hydro Environment, 2021), 40 veces (Cajamar, 2018), 80 renovaciones por hora (Sistemas Horticolas Almeira, 2019), 59,4 veces por hora es adecuado para la regulación de temperatura (Flores, 2018), como recomendación general superiores a 40 renovaciones hora (Bouzo & Lenscak, 2018). Para calcular la cantidad de renovaciones por minuto que puede suministrar el ventilador seleccionado se utilizara la ecuación (6).

$$CFM = 0,58858 * N * V_I \quad (6)$$

Donde:

CFM: pies cúbicos por minuto

N: Renovaciones por minuto

 V_I : Volumen Del invernadero

Con N máximo de 235,9 renovaciones por hora, pero su activación supeditada a las condiciones de temperatura de crecimiento del cultivo, para la que se tomó en cuenta la temperatura promedio favorable entre 20 y 25°C (Izquierdo &

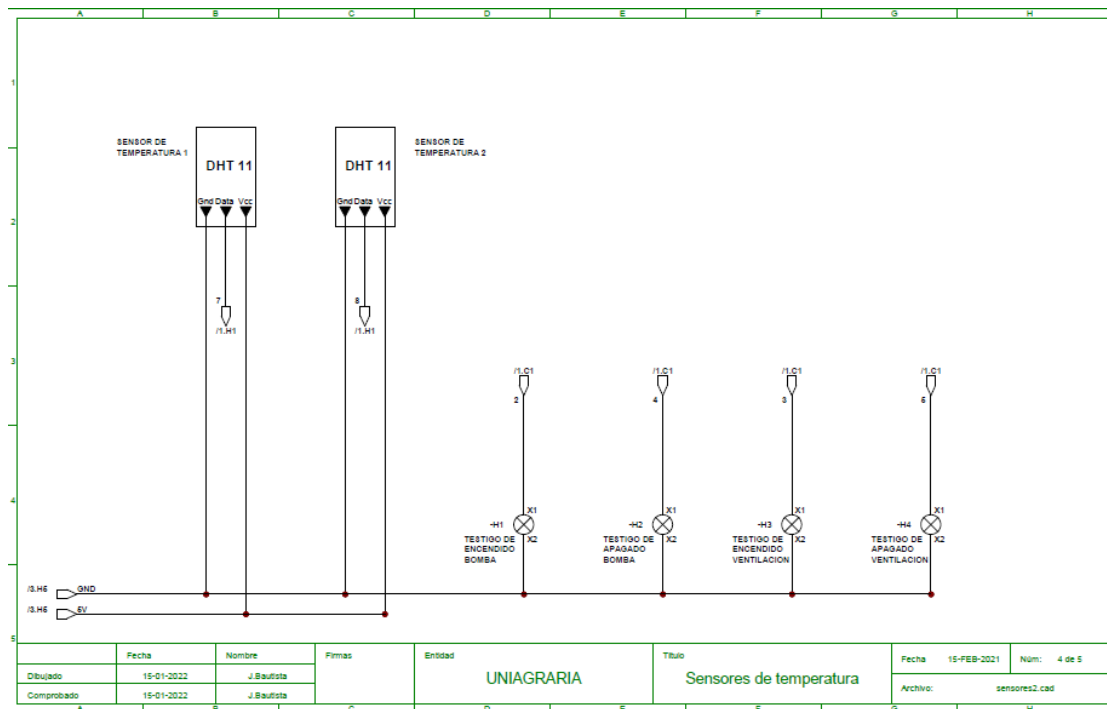
Granados , 2011), para el desarrollo vegetativo entre 6 y 30°C (Hydro Environment, 2021), para establecer los parámetros de control de temperatura en el código de programación del prototipo.

Con las variables determinadas se diseñó el sistema eléctrico y se tiene como resultado 5 esquemas eléctricos diferentes de conexión.

En la Figura 12 la conexión de los instrumentos de medición y actuadores hacia y desde el dispositivo de control, los instrumentos de medición de humedad de suelo Figura 17, instrumentos de medición e indicadores de funcionamiento de actuadores Figura 16, esquema de potencia Figura 18 y esquema de conexiones de los actuadores Figura 19.

Figura 16

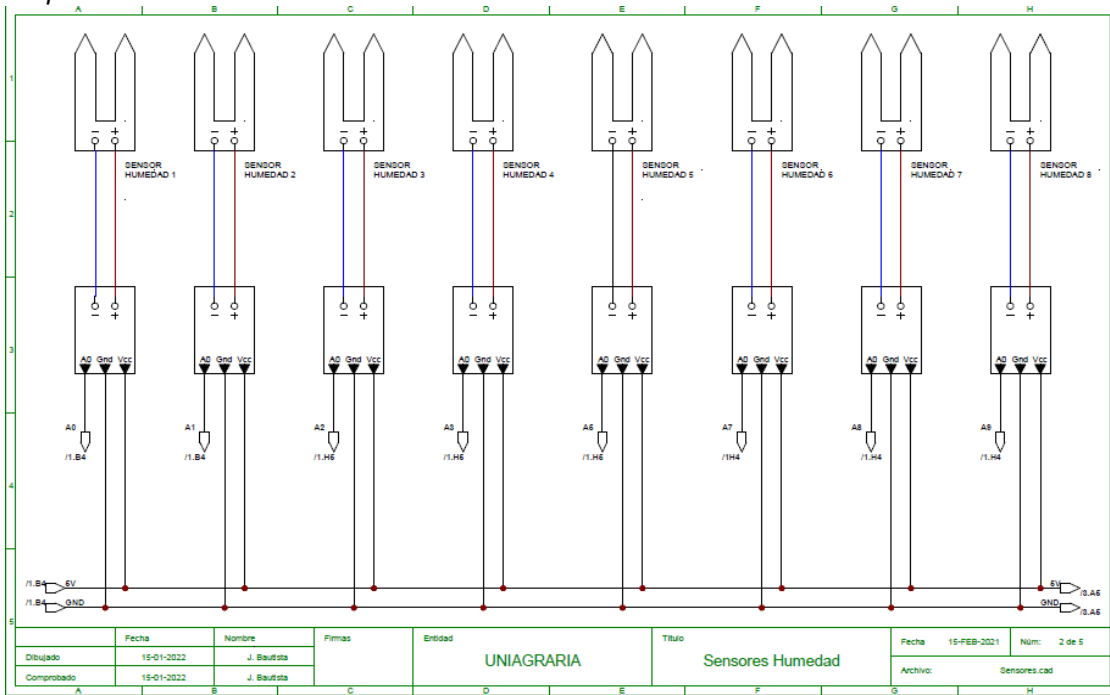
Esquema Eléctrico N°4



Nota: Sensores de temperatura y testigos de accionamiento. Fuente propio

Figura 17

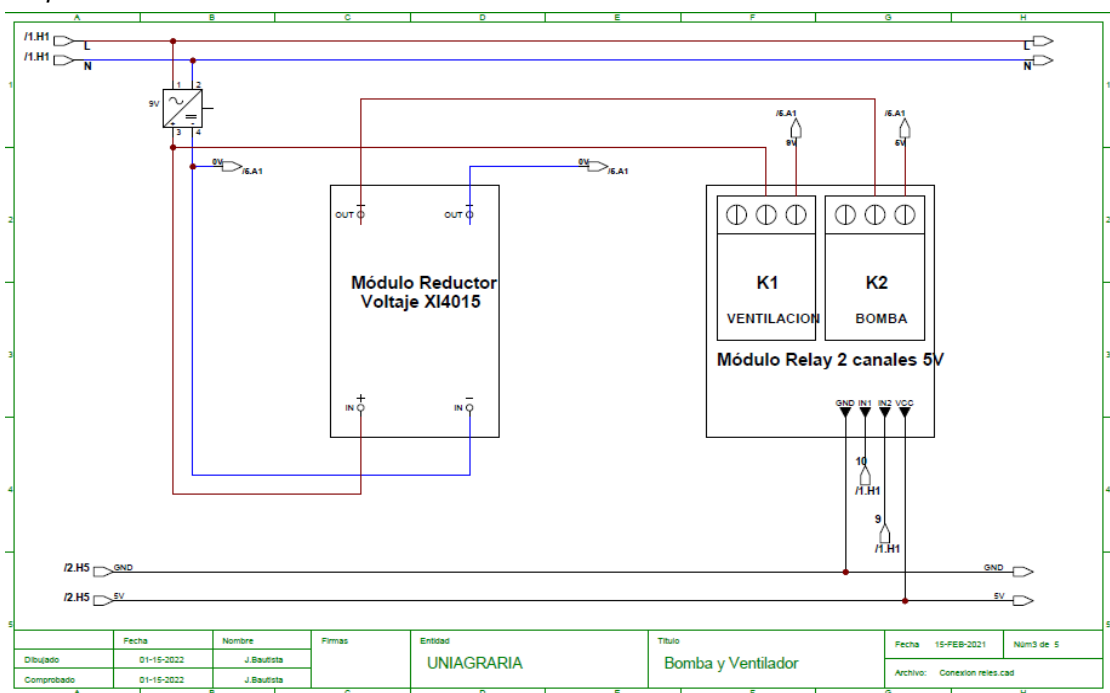
Esquema eléctrico N°2



Nota: conexión de sensores análogos YL100 en el prototipo. Fuente propia.

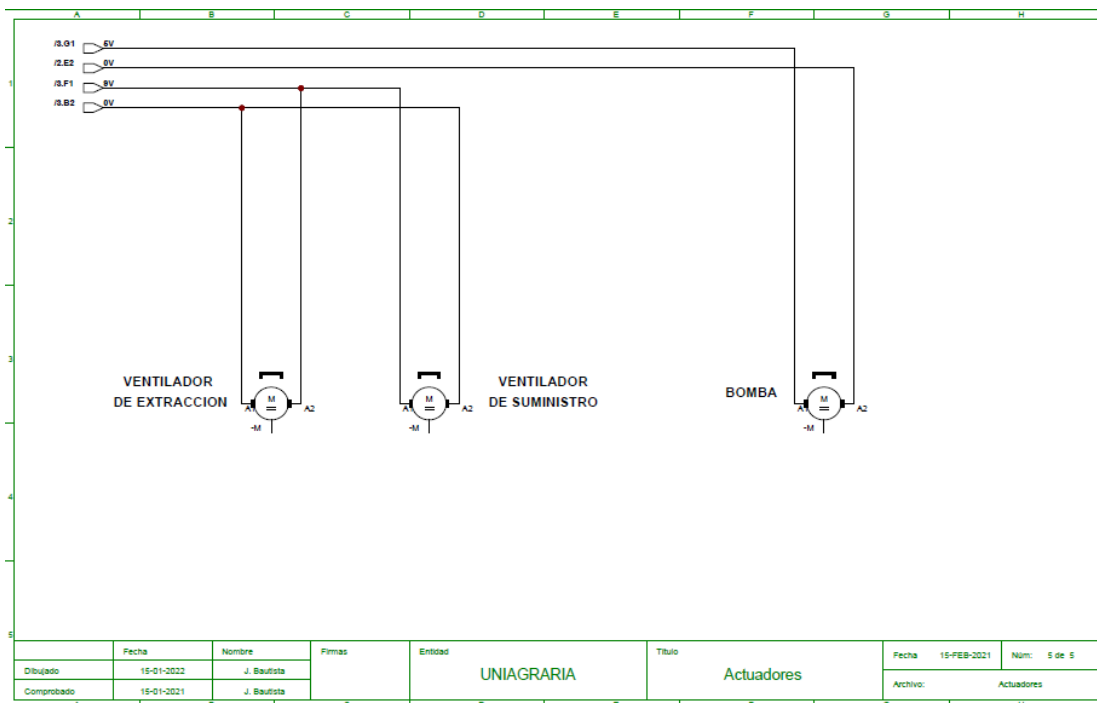
Figura 18

Esquema eléctrico N° 3



Nota: Alimentación y mando de actuadores en el prototipo. Fuente Propio.

Figura 19
Esquema eléctrico N° 5



Nota: Alimentación de actuadores del prototipo. Fuente propio.

7.4 Evaluación Técnica De Viabilidad De La Aplicación Del Prototipo Bajo Las Condiciones De Agricultura Urbana

La finalidad de la evaluación técnica y financiera del proyecto es, la de poder identificar beneficios y desventajas al establecer un sistema automatizado para la producción agrícola en ambientes controlados en el sector urbano, mediante la recopilación de información y la obtención de datos que pueda proporcionar un prototipo con las características mencionadas y se tiene en cuenta factores como:

Variables de evaluación

- Variables de producción
 - Cantidad de semillas germinadas
 - Número de hojas.
 - Longitud de la planta
- Variables tecnológicas
 - Sistema de riego
 - Sistema de ventilación forzada

Figura 20

Código de caracterización de sensores

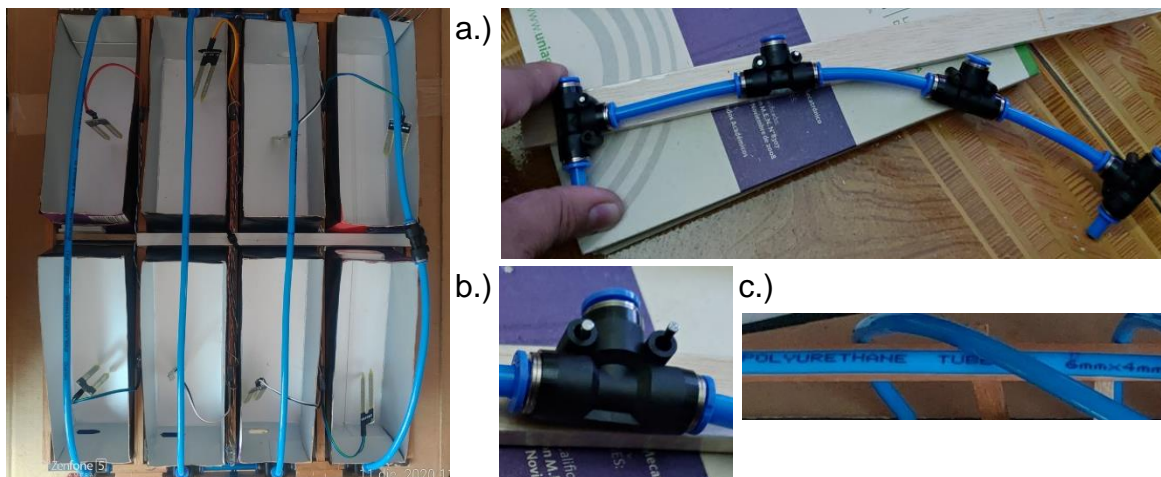
```
int lecturaSensor1 = map(Sensor1, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 1 es: ");Serial.print(lecturaSensor1);Serial.println("%");
int lecturaSensor2 = map(Sensor2, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 2 es: ");Serial.print(lecturaSensor2);Serial.println("%");
int lecturaSensor3 = map(Sensor3, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 3 es: ");Serial.print(lecturaSensor3);Serial.println("%");
int lecturaSensor7 = map(Sensor7, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 4 es: ");Serial.print(lecturaSensor7);Serial.println("%");
int lecturaSensor8 = map(Sensor8, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 5 es: ");Serial.print(lecturaSensor8);Serial.println("%");
int lecturaSensor5 = map(Sensor5, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 6 es: ");Serial.print(lecturaSensor5);Serial.println("%");
int lecturaSensor6 = map(Sensor6, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 7 es: ");Serial.print(lecturaSensor6);Serial.println("%");
int lecturaSensor4 = map(Sensor4, 1023, 300, 0, 100);Serial.print("\tla humedad es del modulo 8 es: ");Serial.print(lecturaSensor4);Serial.println("%");
```

Nota: sensor de tierra valor máximo y mínimo de los sensores, para 0% y 100% de humedad en la tierra.

El porcentaje de humedad de suelo que se registra por los sensores determina el momento de encendido del sistema de riego, el cual se ejecuta por un periodo de 70 segundos, luego apaga el sistema de riego y se evalúa nuevamente el porcentaje de humedad en el suelo si este está por encima del 45% se detiene el proceso de riego si no se mantiene hasta que alcance el valor establecido, con este sistema on/off la humedad en el suelo se mantiene en los parámetros establecidos en el sistema de control, el cual se fabrica con tubería flexible habitualmente utilizada para aplicaciones neumáticas pero la cual satisface las necesidades del sistema de riego por goteo como se muestra en la Figura 21. De esta manera se pudo comprobar que el sistema de distribución de agua diseñado se desempeña de manera adecuada.

Figura 21

Sistema de riego por goteo



Nota: a.) Puntos de conexión para las cuatro líneas de riego, b.) T neumática, C.) Manguera de poliuretano neumática de 6mm.

No obstante, durante el periodo de estudio se observó un deterioro en los instrumentos de medición, lo cual afecta las medidas obtenidas, obligando a reemplazar los elementos deteriorados, en este caso los sensores de humedad de tierra que después de 15 días de trabajo continuo presentan oxidación y por ende perdida de material en sus puntas de medición partes de color verde y rosado como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Corrosión en sensor de humedad de suelo



7.4.2 Sistema De Ventilación Forzada

Los datos registrados indican que con el sistema de control on/off para la ventilación forzada, se logra mantener el interior del prototipo en las condiciones de temperatura establecidas anteriormente, se aclara que en este caso solo se controla que la temperatura no sobrepase el máximo permitido que para este caso es de 24°C.

7.4.3 Desarrollo Vegetal

Para evaluar el desarrollo del material vegetal primero se hicieron las pruebas pertinentes correspondientes al funcionamiento del sistema de riego y el sistema de ventilación forzada, entre el 2 y el 15 de enero 2021 y se comienza con el proceso de siembra el sábado 16 de enero en una mezcla de cascarilla de arroz, fibra de coco y tierra negra en proporciones iguales, hasta el sábado 30 y en este periodo de muestra se evalúa el porcentaje de germinación, cantidad de hojas y longitud de la planta.

7.4.3.1 Germinación.

Durante los primeros días del periodo de prueba la germinación de las semillas en el interior del prototipo es del 75% como se muestra en la Figura 24, tomando en cuenta que, la germinación comienza al segundo día y termina aproximadamente al noveno día (Mendivil Lugo et al., 2020), se cultivan dos semillas por cada uno de los 8 contenedores de las cuales brotan solamente 12 de ellas, de la siguiente manera, se dio inicio el cultivo el día 16 de enero y los primeros brotes se registran tres días después el día 19 de enero y el ultimo el día 20 de enero. Se continua con el registro fotográfico en el cual se evidencia el crecimiento de las plantas hasta el día que se sacan de los contenedores para hacer mediciones como se muestran en la Figura 23.

Figura 23

Pruebas de Sistema y germinación



Figura 24*Semillas germinadas*

7.4.3.2 Longitud De La Planta.

Esta toma de datos se realizó el día 30 de enero de 2021 al extraer las plantas, el proceso de medición se llevó a cabo con una regla en milímetros, para tener una medida estándar en la longitud, solo se mide el tallo hasta el primer nudo cotidelonar, y para el espesor del tallo se utilizó un pie de rey de una apreciación de 1/20 de mm como se muestra en la Figura 25 y se obtienen los datos que se observan en la Figura 26 y 27.

Figura 25*Mediciones de longitud y de espesor*

Tabla 15*Espesor y largo del tallo*

	Mediciones en mm											
Nº planta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Largo	95	85	90	93	91	88	89	94	83	90	89	86
Ancho	1,3	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,1	1,4	1,3	1,3	1,4

En los siguientes gráficos se observan las fluctuaciones de las dimensiones que hicieron parte de los resultados tomados en cuenta del proceso de evaluación, con respecto a el largo y el espesor del tallo:

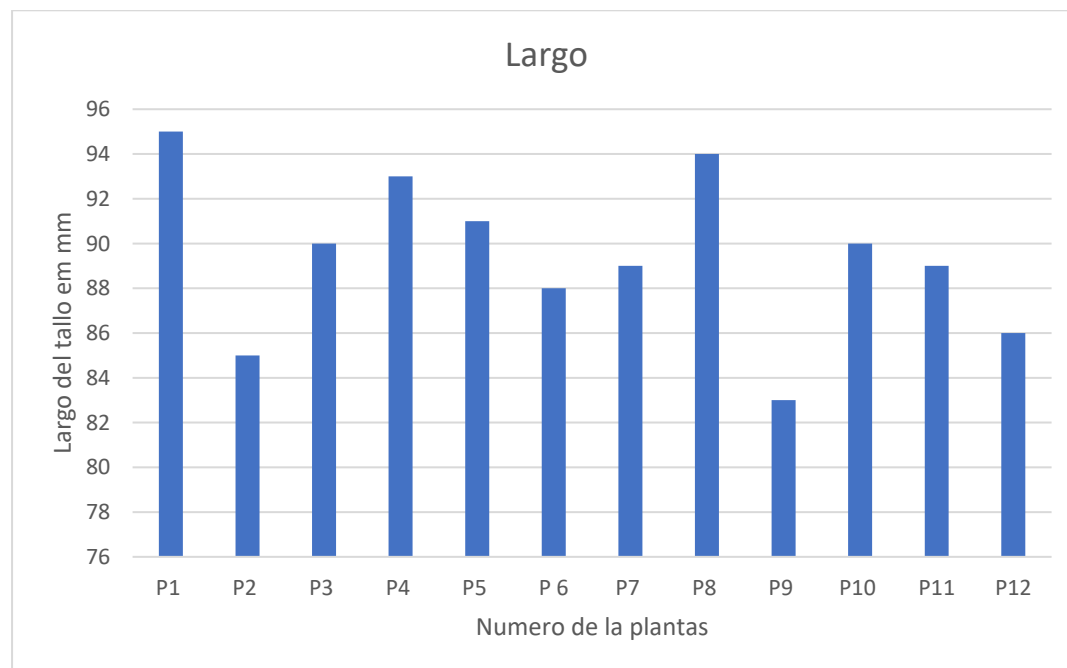
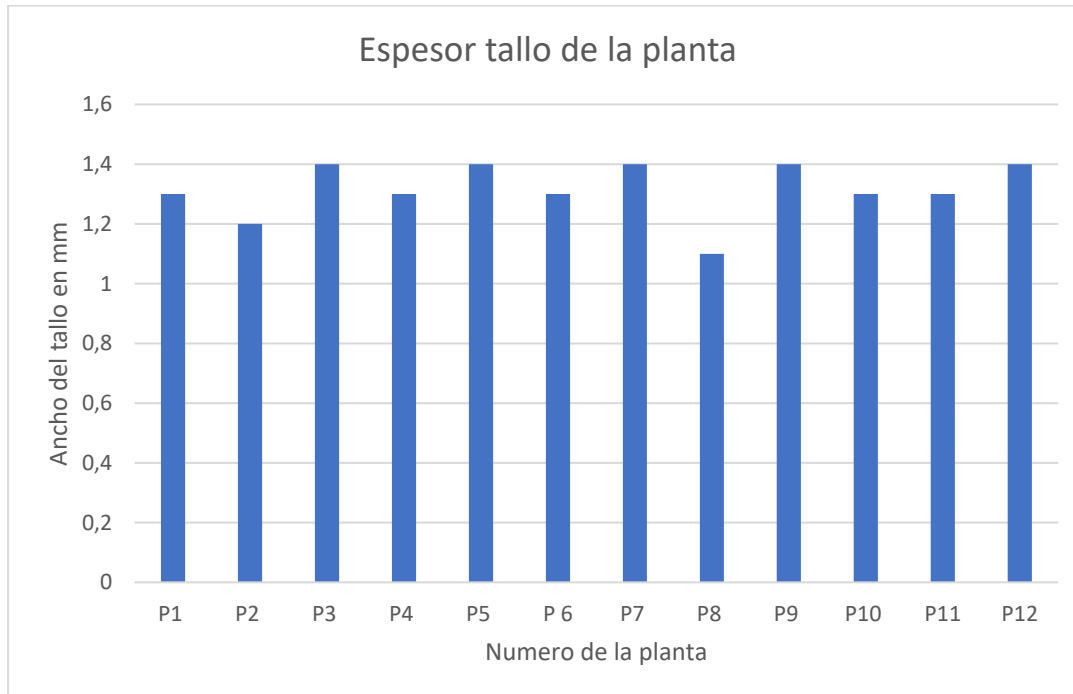
Figura 26*Longitud de los tallos, medición en mm.*

Figura 27*Espesor de tallo, medición en mm***7.4.3.3 Numero De Hojas.**

La cantidad de hojas que emergieron de las plantas finalmente era de cuatro al día que se extrajeron de los contenedores como se muestra en la Figura 28, pero cabe aclarar que, el día 21 de enero del 2021 se pueden observar bien formadas en todas las plantas dos hojas como se muestra en la Figura 29, según la consulta de la bibliografía, las hojas cotidionales emergen a los 5 días después de la siembra (Ramirez Pisco & Pérez Arenas , 2006).

Figura 28

Hojas a los 15 días de cultivo

**Figura 29**

Hojas 5 días después de la siembra



8. Conclusiones

El proceso de caracterización de información facilitó definir las variables que guiaron de manera adecuada el proceso de diseño del prototipo, confirmando que la temperatura influye en el crecimiento y desarrollo de material vegetal. Sin embargo, a medida que se avanza en el proceso de control bajo condiciones de inclusión sensorica, se observa que como parte de una futura mejora del sistema se puede incluir temas de crecimiento con la supervisión de otras variables que no se consideraron para este proceso; como la producción de CO_2 .

La recolección de información durante la etapa de conceptualización de agricultura protegida permite evaluar y comparar la selección de variables para la elección y el desarrollo de los sistemas control, potencia del automatismo y facilitan el análisis cuantitativo del comportamiento del sistema que se adaptan a la estructura, los cuales deben satisfacer los requisitos necesarios para el crecimiento del material vegetal y su seguimiento en cada etapa producción.

La implementación de una estructura modular facilita el acceso, para el recambio de dispositivos y paneles en mal estado. Así mismo se pudo observar que para el caso de los instrumentos de medición sensorica de humedad, se debe seleccionar uno que cuente con una mayor resistencia a factores que pueden generar deterioro en el dispositivo.

El sistema automatizado diseñado, permitió observar la factibilidad tecnológica como una opción de gestión y control, para los sistemas productivos en agricultura urbana. En ese ejercicio, se hace necesario ver la funcionalidad de cada uno de los sistemas que hacen parte del automatismo por separado y su seguimiento de funcionalidad en conjunto, lo cual permite ver cada etapa del proceso con mayor precisión.

El sistema electrónico de adquisición de datos, el cual dispone de dispositivos encargados de la interpretación de magnitudes y obtención de datos mediante la aplicación de los sensores, satisface el suministro de información al circuito de mando, no obstante, con respecto a los instrumentos de medición utilizados para la medición de humedad de suelo, se debe seleccionar uno que cuente con una mayor resistencia a factores que pueden generar deterioro en el dispositivo.

El sistema electrónico de mando, que es el encargado de recibir la información de los elementos de entrada y contiene el código de programación con las condiciones del sistema de control, responde de manera adecuada al accionamiento de los sistemas de actuación frente a los cambios que se presentan en las condiciones del microclima dentro del prototipo.

El sistema de actuación hidráulico (sistema de Riego por goteo), que se implementó garantizó la distribución del fluido en zonas específicas donde se sembró la semilla, debido a que el riego por goteo garantiza el suministro de pequeñas cantidades de manera continua.

El Sistema de actuación mecánico (sistema de ventilación forzada) garantiza la renovación de aire y como resultado de esta acción disminuye la temperatura en el interior del prototipo, según las condiciones establecidas en el sistema de mando, parametrizadas bajo contextos sensoricos y de programación.

La automatización de procesos hace que necesariamente se haga uso de herramientas de software en cada etapa del proceso de diseño y construcción del prototipo, para sistemas agrícolas protegidos lo cual garantiza la disminución de errores en la implementación tecnológica y por ende en el desarrollo del material vegetal. Lo que conduce a que el diseño e implementación, de un sistema automatizado para la agricultura urbana bajo el prototipo y análisis construido presenta una opción apropiada para la producción agrícola en la ciudad, como alternativa de producción de alimentos saludables para satisfacer la dieta familiar que permite verificar un parámetro de sustentabilidad.

9. Glosario

Actuador: Dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en un movimiento sobre un proceso automatizado. (Fondo Social Europeo , 2022)

Agricultura: Arte de cultivar la tierra. (Riego , 2022)

Agricultura Urbana: Sistema agrícola desarrollado en el interior de la ciudad. (Riego , 2022)

Automatismo: Mecanismo para automatizar. (Riego , 2022)

Automatización: Técnica cuya finalidad es sustituir el operador humano por dispositivos artificiales. (Riego , 2022)

Sensor: Elemento sensible a una acción externa que produce una señal eléctrica relacionada con la magnitud que se está midiendo. (Fondo Social Europeo , 2022)

Sistema: Conjunto de partes relacionadas entre sí de alguna manera, actúan coordinadamente y contribuyen a determinado objeto. (Riego , 2022)

Sistema hidráulico: Instalaciones hidráulicas necesarias para organizar funciones de captación, de almacenamiento, de conducción, de bombeo, de distribución y de evacuación. (Riego , 2022)

Tecnología: Conjunto de conocimientos instrumentos y técnicas de un área en particular. (Riego , 2022)

Variable: Magnitud que puede tener diversos valores. (Riego , 2022)

10. Referencias

- Alcaldía de Bogotá. (03 de junio de 2004). *Acuerdo 119 de 2004 Concejo de Bogotá, D.C.* Obtenido de Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13607>
- Alcaldía de Bogotá. (11 de junio de 2008). *Acuerdo 308 de 2008 Concejo de Bogotá, D.C.* Obtenido de Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30681>
- Alcaldía de Bogotá. (12 de junio de 2012). *Acuerdo 489 de 2012 Concejo de Bogotá, D.C.* Obtenido de Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47766>
- Alcaldía de Bogotá. (11 de junio de 2020). *Acuerdo 761 de 2020 Concejo de Bogotá, D.C.* Obtenido de Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/acuerdo_761_de_2020_adopcion_del_pdd_0.pdf
- Alcaldía de Bogotá. (11 de 06 de 2020). *www.alcaldiabogota.gov.co*. Obtenido de www.alcaldiabogota.gov.co: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo_no_1_articulo_14_metas_sectoriales.pdf
- BancoMundial. (20 de 09 de 2019). *bancomundial.org*. Obtenido de [bancomundial.org](http://www.bancomundial.org): www.bancomundial.org
- Barbado , J., Sierra , J., & Bravo , J. (2016). *Automatismos industriales*. México D.F.: Alfaomega .

- Barrientos, A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de producción automatizados*. Madrid: Dextra Editorial S.L.
- Basso, B. (2007). *Agricultura de precisión : conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*. Madrid: Librería de la U.
- BID. (10 de Octubre de 2020). *Ciudades sostenibles*. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/brooklyn-grange/#:~:text=Los%20agricultores%20de%20Brooklyn%20Grange,biodiversidad%20al%20suelo%20del%20huerto.>
- Bigtronica. (10 de Octubre de 2021). *Sensor DHT11 en Tarjeta*. Obtenido de BIGTRONICA soluciones electronicas: <https://www.bigtronica.com/sensores/temperatura/37-tarjeta-sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11-5053212000370.html>
- Bolton, W. (2013). *Mecatronica*. México: Alfaomega.
- Borbon Morales , C. G., & Arvizu Armenta, M. (20 de Julio de 2015). *Contraste empírico de la transferencia de tecnología en tres empresas de agricultura protegida en México*. Obtenido de Nova scientia: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000300364&lng=es&nrm=iso
- BOSCH. (2017). *General Information Guide*. Germany: BOSCH .
- Bouzo , C., & Lenscak, M. (2018). Análisis experimental del efecto de cambios estructurales en invernaderos con techo a dos vertientes. *Fave. Sección ciencias agrarias*.
- Cajamar. (28 de Junio de 2018). *Cuanta Ventilación necesita un Invernadero*. Obtenido de Tecnología de invernaderos: <https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/tecnologia-de-invernaderos/noticias/cuanta-ventilacion-necesita-un-invernadero/>

Calaza, G. T. (2019). *Taller de Arduino*. México: Alfaomega.

Calle Hernandez, A., Mena Aguilar, J., Beaulieu, M. A., Urbina Avilez, P., & Hachler, P. (10 de Junio de 2020). *Agricultura urbana en América Latina*. Obtenido de LEISA revista agroecologica: <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol35n3.pdf>

Campo News. (10 de Noviembre de 2020). *El asombroso tambo que flota en el agua y produce leche para la ciudad*. Obtenido de Campo.News: <https://www.campo.news/2019/10/22/el-asombroso-tambo-que-flota-en-el-agua-y-produce-leche-para-la-ciudad/>

Cásseres, E. (1966). *Produccion de hortalizas* . Bib. Orton IICA .

Castilla, N. (2007). *Invernaderos de plástico tecnología y manejo*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

CdgFan . (02 de 2021). *CdgFan*. Obtenido de CdgFan: <https://www.cgdfan.com/6038mm-dc-5v-12v-48v-60-60-38mm-axial-fan.html>

CGDFAN. (02 de 2021). *CGDFAN*. Obtenido de CGDFAN: <https://www.cgdfan.com/6038mm-dc-5v-12v-48v-60-60-38mm-axial-fan.html>

Corpoica. (2012). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. (Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria, Ed.) Corpoica.

Cortazar, S., & Mosquera, E. (10 de Octubre de 2020). *Agricultura urbana en América Latina*. Obtenido de LEISA revista de agroecologia : <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol35n3.pdf>

Departamento nacional de Planeacion. (30 de Agosto de 2020). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de Hambre cero: <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/hambre-cero>

- Direct INDUSTRY. (10 de Octubre de 2021). *Sensor de humedad del suelo HT-706*. Obtenido de HENGKO Technology Co.: <https://www.directindustry.es/prod/hengko-technology-co-ltd/product-240250-2455019.html>
- Dueñas, M. (21 de noviembre de 2019). *LinkedIn*. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/revoluciones-industriales-miguel-due%C3%B1as-arango>
- Electronilab. (10 de Octubre de 2021). *Electronilab*. Obtenido de Electronilab: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-humedad-de-suelo-anticorrosivo-higrometro/>
- FAO. (05 de septiembre de 2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations web site: <http://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/en/>
- FAO, FIDA, OMS, PMA Y UNICEF. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición del mundo*. Obtenido de Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía: <https://www.fao.org/3/ca5162es/ca5162es.pdf>
- Fernandez, J. N. (2016). *Raíces en el asfalto Pasado, presente y futuro de la agricultura urbana*. Madrid: LIBROS EN ACCION.
- Fernando Navas, D., Gómez Luna, E., Aponte Mayor, G., & Betancourt Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 7. Obtenido de www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405022
- FESTO. (10 de Octubre de 2021). *Sensores inductivos*. Obtenido de festo.com: https://www.festo.com/co/es/c/productos/automatizacion-industrial/sensores/sensores-inductivos-id_pim129/

Flores, A. (2018). Estudio de las estrategias para la gestión del clima en invernaderos de baja tecnología en climas cálidos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

Fondo Social Europeo . (09 de Octubre de 2022). *Glosario de terminos Utilizados en el montaje y mantenimiento de sistemas de automatizacion industrial*. Obtenido de Ministerio de Educacion, Cultura y deporte : https://incual.educacion.gob.es/documents/20195/1873851/PORTADA_ELE599_2.pdf/23d76bf7-72d8-4f01-b600-f7b67754dfb7

Fundacion Agricultores Solidadrios de España y el SENA. (2009). *Curso de cultivos protegidos*. Bogota: Instituto san pablo apostol.

Goites , E. (2012). *Manual de cultivos para huerta organica familiar*. Obtenido de Ministerio de desarrollo social : https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_de_cultivos_para_la_huerta_organica_familiar_.pdf

Gonzales, M. A. (2012). Procedimientos de Diseño en Mecatronica. *Ingeniería Investigación y Tecnología*.

Hogares campesinos juveniles . (2010). *Manual agricultura alternativa*. Bogota: Editorial Grania Ltda.

Hydro Environment. (2021). *Ventilacion en un Invernadero*. Obtenido de hydroenv: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=429

IDEAM. (2020). *Boletin AgroClimatico Nacional* . Bogota : Minagricultura .

IMA. (20 de febrero de 2021). *IMA invernaderos*. (I. IMA, Productor) Obtenido de IMA invernaderos: <https://www.invernaderosima.com/es/invernadero-multicapilla-g%C3%B3tico.html>

Infoagro. (20 de febrero de 2020). *Principales Tipos de Invernaderos*. Obtenido de infoagro.com: https://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm

- Ininsa. (20 de Febrero de 2020). *Multicapilla de techo a dos vertientes*. Obtenido de Fabricantesinvernaderos.com:
<https://www.fabricanteinvernaderos.com/productos/invernaderos/multicapilla-de-techo-a-2-vertientes/>
- INSTRUMATIC. (10 de Octubre de 2021). *RTDs / PT100 / Temoresistencia*. Obtenido de INSTRUMATIC optimizando su industria: <https://instrumatic.com.co/categoria-producto/temperatura/rtds-pt100-temoresistencia/>
- Interempresas Media, S. (20 de 09 de 2020). *Frutas y Verduras*. Obtenido de Frutas y verduras: <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Presentacion-Rabano.html>
- Izquierdo, J., & Granados, S. (2011). *Manual Técnico*. (FAO, Ed.) Obtenido de Producción Artesanal de semillas de hortalizas para la huerta familiar: <https://www.fao.org/3/i2029s/i2029s.pdf>
- Jaramillo, J., Rodriguez, V., Rengifo, T., Zapata, M., & Guzman, M. (2007). *AGROSAVIA*. Obtenido de AGROSAVIA:
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13469>
- Jardin Botanico de Bogota. (2021). *Bogota es Mi huerta*. Obtenido de Bogota es Mi huerta: <https://bogotamihuerta.jbb.gov.co/>
- Jorge, J., Rodriguez, V., Guzman, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *repository.agrosavia.co*. Obtenido de repository.agrosavia.co:
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13469/43123_50544.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lattuca, A. (10 de Octubre de 2020). *Agricultura urbana*. Obtenido de LEISA revista de agroecología : <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol35n3.pdf>
- Lopez, P. (2016). *Domotica y robotica basica con arduino*. Madrid, España: Ra-Ma Editorial.

- Madruga, A., Stevez, A., Sosa, R., Garcia, C., & Santana, I. (2019). Red de Sensores Inalambricos para la Adquisición de Datos en Casas de Cultivo. *Revista Ingenieria*. doi:<https://doi.org/10.14483/23448393.14437>
- Maroto, J. V. (2014). *Historia de la agronomia 2 edición*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Martínez, J. M. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona: Marcombo .
- MAX-FLOW. (2021). *MAX-FLOW Electric machinery Co., Ltd*. Obtenido de MAX-FLOW Electric machinery Co., Ltd: https://www.max-flow.com/zh_TW/products-details/no/1542788106001
- Mendivil Lugo, C., Nava Perez, E., Armenta Bojorquez , A., Ruelas Ayala , R., & Felix Hernan, J. (03 de Agosto de 2020). *Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano*. Obtenido de Biotecnia: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1120>
- Montes , S. (29 de Febrero de 2020). *Los Tramites y Costoa a tener en cuenta para levantar un invernadero en su finca*. Obtenido de Agronegocios: <https://www.agronegocios.co/agricultura/los-tramites-y-costos-a-tener-en-cuenta-para-levantar-un-invernadero-en-su-finca-2957460>
- Nahmias y Le Caro, P. y. (16 de septiembre de 2012). Pour une définition de l'agriculture urbaine : réciprocité. *Environnement urbain*, 17. Obtenido de <https://www.erudit.org/en/journals/eue/2012-v6-eue0411/1013709ar.pdf>
- NOVAGRIC. (20 de febrero de 2020). *Invernadero Tropical o Asimétrico*. Obtenido de novagric.com: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-asimetricos#:~:text=Se%20denominan%20Invernaderos%20Tropicales%20porque,m%C3%A1s%20inclinado%20que%20el%20otro>.

NOVAGRIC. (22 de febrero de 2020). *Invernadero Túnel*. (N. a. S.A., Productor) Obtenido de NOVAGRIC.COM: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-tunel>

NOVAGRIC. (21 de febrero de 2020). *Invernaderos Capilla*. Obtenido de <https://www.novagric.com>: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>

ONU. (22 de julio de 2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (N. Unidas, Productor) Obtenido de Hambre cero: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>

Ordóñez Bermudez, J. C. (MAYO de 2022). *CARACOL RADIO*. Obtenido de CARACOL RADIO: https://caracol.com.co/emisora/2022/05/20/bucaramanga/1653057165_015860.html

Pállas Areny, R. (2006). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. México: Alfaomega.

Prada, C. d. (2018). *Alimentos con residuos de pesticidas alteradores hormonales : una grave amenaza para la salud consentida por las autoridades*. Librería de la U.

Prada, C. d. (2018). *Alimentos con residuos de pesticidas alteradores hormonales : una grave amenaza para la salud consentida por las autoridades*. Librería de la U.

QAMPO. (31 de agosto de 2020). *Evolución de la agricultura*. Obtenido de <https://qampo.es/blog/evolucion-la-agricultura/>

Quintanilla, M. A. (21 de Diciembre de 2016). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía tecnología*. Obtenido de academia.edu: https://www.academia.edu/44599965/Tecnolog%C3%ADa_un_enfoque_filos%C3%B3fico_y_otros_ensayos_de_filosof%C3%ADa_de_la_tecnolog%C3%ADa_M_I_G_U_E_L_%C3%81_N_G_E_L_Q_U_I_N_T_A_N_I_L_L_A

- Ramirez Pisco , R., & Pérez Arenas , M. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*.
- Revol Maurel, C. (10 de Octubre de 2020). *Huertos urbanos en los tejados de París*. Obtenido de Explore France: <https://www.france.fr/es/paris/inspiracion/huertos-urbanos-techos-paris>
- Riego . (09 de Octubre de 2022). *Glosario de riego* . Obtenido de <https://www.riego.org/glosario/>
- Rivera, Y. (12 de Diciembre de 2021). *Alcaldía de Bogota*. Obtenido de Bogotá es mi huerta: primera plataforma de co-creación de agricultores urbanos: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/desarrollo-economico/bogota-mi-huerta-la-aplicacion-para-agricultores-urbanos-que-es>
- Rodriguez, L. E. (15 de septiembre de 2020). *Agricultura Urbana y Periurbana*. (C. radio, Editor) Obtenido de Cultivos en la ciudad, para ayudar en la seguridad alimentaria: https://caracol.com.co/programa/2020/08/22/al_campo/1598095332_017389.htm
I
- Sanabria , M., Forero, O., & Candelo, H. (10 de Octubre de 2020). *Agricultura urbana en la ciudad de Cali*. Obtenido de unices.edu.co: <http://www.unices.edu.co/biblioteca/2019/LIBRO%20AGRICULTURA%20URBANA%20%20003.pdf>
- SEMICOL SAS. (01 de Febrero de 2021). *Semillas de hortalizas* . Obtenido de SEMICOL: <https://www.semicol-sas.com/copia-de-10>
- SENA. (1986). *Huerta Casera El Cultivo Del Rabano* . Bogota : Servicio Nacional De Aprendizaje SENA .

Sistemas Horticolas Almeira. (25 de Junio de 2019). *Ventilación invernadero: Todo lo que necesitas saber*. Obtenido de Sistemas Horticolas Almeira S.L.: <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/ventilacion-invernadero/>

Suarez Rivero, D., Santis Navarro, A. M., Marin Mahecha, O., Mejia Teran, A. L., Sua Villamil, A. M., & Suarez Rivero, M. (2016). Evaluation of the Effect of Two Types of Fertilizer on the Growth, Development and Productivity of Hydroponic Green Forage Oat (*Avena sativa* L.) and Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) as a Biomass Source. *Italia Chemical Engineering Transactions*, 390. doi:DOI: 10.3303/CET1650065

Tamayo, M. T. (2014). *El proceso de la investigacion cientifica* . Mexico: Limusa.

Tauger, M. B. (2010). *Agriculture in world history* . London, Reino Unido: Routledge.

UNDP. (22 de julio de 2019). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

UNDP. (22 de 07 de 2020). *UNDP*. (P. d. desarrollo, Productor) Obtenido de UNDP: <https://www.undp.org/>