

METODOLOGÍA DE AGRICULTURA URBANA DISTRIBUIDA EMPLEANDO INTERNET
DE LAS COSAS EN LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A SEGURIDAD
ALIMENTARIA DEL GRUPO GIDATIC DE LA UPB

Kimberly Rubi Chozo Juárez

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Telecomunicaciones

Medellín

2021

METODOLOGÍA DE AGRICULTURA URBANA DISTRIBUIDA EMPLEANDO INTERNET
DE LAS COSAS EN LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A SEGURIDAD
ALIMENTARIA DEL GRUPO GIDATIC DE LA UPB

Kimberly Rubi Chozo Juárez

Trabajo de grado para optar al título de ingeniera de telecomunicaciones

Asesor

Leonardo Betancur Agudelo, PhD.

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Telecomunicaciones

Medellín

2021

24 de febrero de 2021

Kimberly Rubi Chozo Juárez

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad”.
Art. 92, párrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Kimberly Rubi Chozo Juárez

A la memoria de mi
abuela Genera Acosta
Cajusol y en honor a mi
abuelo Guillermo Juárez
Bances que fueron los
cimientos para la
construcción de mi vida
profesional y sentaron en
mi la base de
responsabilidad y ganas
de superación.

AGRADECIMIENTOS

Al concluir una etapa maravillosa en mi vida quiero dar gracias a dios por la salud que me ha brindado a mí y todos los que quiero en este tiempo tan difícil que está pasando a nivel mundial. Después quiero agradecer a mi mamá por el apoyo y la ayuda incondicional en cada una de las decisiones que he tomado a lo largo de toda mi vida.

También quiero agradecer a mis amigos, que me han acompañado en mi recorrido por la vida mostrándome en todo momento su apoyo emocional incondicional. Decirle gracias también a mis profesores por el conocimiento que me han compartido durante estos cinco años de aprendizaje dentro de la universidad.

Y a mi novio darle gracias por la ayuda que me ha brindado y por acompañarme en momentos difíciles. Nada ha sido sencillo sin embargo siempre estuvo con una actitud motivadora y esperanzadora animándome cada día.

Contenido

CAPÍTULO 1.....	17
Marco referencial.....	17
1.1 Marco contextual.....	17
1.2 Marco conceptual.....	19
1.3 Marco legal.....	22
1.4 Estado del arte.....	22
1.5 Fundamentación del proyecto.....	24
1.5.1 Objetivo General.....	24
1.5.2 Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO 2.....	26
Levantamiento de prerequisites.....	26
2.1.1 PICO: A garden in your palm. Growing is fun again!.....	26
2.1.2 Grow Wall.....	27
2.1.3 Mkono - Macetero de plástico para riego automático.....	29
2.1.4 Parrot Maceta Inteligente.....	29
2.1.5 iHarvest.....	30
2.1.6 OGarden Smart.....	32
2.1.7 Plantone: Smartest Mini Indoor Garden.....	33
2.1.8 CounterCrop: The Modern Way to Grow Your Own Food.....	34
2.1.9 Herbstation: The easiest way to grow at home.....	35
2.1.10 Sistema de cultivo interior Miracle-Gro Twelve.....	36
2.1.11 Herbert – Grow fresh organic food at home.....	37
2.1.12 PlantHive Smart Garden.....	38
2.1.13 Smart Garden: Your smart garden for fresh & local superfoods.....	40
2.1.14 AVA Byte Automated Indoor Garden.....	41
2.1.15 LeGrow L - Smart Garden.....	42
2.1.16 Grow Box 2 Pallet Farm.....	43
2.2 Análisis de los aspectos más importantes entre los productos comerciales.....	44
2.2.1 Producción.....	45
2.2.1.1 Dispositivo con mayor producción.....	45

2.2.1.2 Dispositivo con menor producción	45
2.2.2 Gasto energético.....	46
2.2.2.1 Dispositivo con mayor gasto energético diario	46
2.2.2.2 Dispositivo con menor gasto energético diario.....	46
2.2.3 Vida útil del dispositivo	46
2.2.3.1 Dispositivo con mayor tiempo de vida útil	47
2.2.3.2 Dispositivo con menor tiempo de vida útil.....	47
2.2.4 Precio por volumen	48
2.2.4.1 Dispositivo con mayor precio por volumen	48
2.2.4.2 Dispositivo con menor precio por volumen	48
2.3 Análisis comparativo	49
2.3.1 Paleta OPCOM DFT	51
2.3.2 LeGrow L.....	52
2.4 Requerimientos Funcionales	53
2.4.1 Requisito funcional 01	53
2.4.2 Requisito funcional 02	53
2.4.3 Requisito funcional 03	54
2.4.4 Requisito funcional 04	54
2.4.5 Requisito funcional 05	54
2.4.6 Requisito funcional 06	54
2.4.7 Requisito funcional 07	54
2.4.8 Requisito funcional 08	54
2.5 Requisitos no funcionales.....	54
2.5.1 Fácil de sembrar.....	54
2.5.2 Agradable visualmente	54
2.5.3 Fácil de instalar	54
2.5.4 Fácil de transportar.....	54
2.5.5 Diversas presentaciones	54
2.5.6 Modularidad	54
CAPÍTULO 3.....	56
Ideas de diseño	56
Idea 1: Hidroponía de bricolaje: Cómo construir un sistema de hidroponía con botellas de plástico para jardín con balcón (2020) [46].	56

MATERIALES	56
PROCEDIMIENTO	57
PRESUPUESTO	59
Costo total por la estructura	59
Idea 2: Como cultivar lechuga hidropónica método Kratky hidroponía sin electricidad México Verde [47].	61
MATERIALES	61
PROCEDIMIENTO	61
PRESUPUESTO	62
Costo total por infraestructura	63
Idea 3: Método Kratky HIDROPONÍA FÁCIL y casera /Tutorial de sistema kratky con maceta hecha a mano [48].	64
MATERIALES	64
PROCEDIMIENTO	65
PRESUPUESTO	66
Costo total por infraestructura	67
Idea 4: Como hacer Sistema de cultivo HIDROPÓNICO CASERO paso a paso / Ideal para PRINCIPIANTES semillero [49].	68
MATERIALES	68
PROCEDIMIENTO	68
PRESUPUESTO	70
Costo total por infraestructura	70
Idea 5: Cultiva lechugas en casa sin parar – Increíble Idea – Lechuga hidropónica infinita [50].	72
MATERIALES	72
PROCEDIMIENTO	72
PRESUPUESTO	74
Costo total por infraestructura	75
Idea 6:	76
MATERIALES	76
PROCEDIMIENTO	77
PRESUPUESTO	77
Costo total por infraestructura	77
3.1 Análisis de los elementos de diseño de las diferentes propuestas	81

3.2 Evaluación financiera de las alternativas de la idea seleccionada	83
Propuesta de diseño #1 – Dona	83
Costo total por la infraestructura.....	83
Propuesta de diseño #2.0 – Horizontal con tubos	85
Costo total por infraestructura	85
Propuesta de diseño #2.1 – Horizontal con tubos	87
3.4 Infraestructura física	87
3.5 Infraestructura Electrónica.....	91
3.6 Infraestructura Blanda (Software).....	93
CAPÍTULO 4.....	94
Requerimientos principales del dispositivo.....	94
4.1 Elementos para el desarrollo	95
4.1.1 End devices.....	97
Hardware	97
1. Tarjeta NodeMcu V3 para ESP826 [55].....	97
2. Sensor de temperatura y humedad HDC1008 [55].....	98
3. Sensor de luz UV GY-VEML6070 [55].....	98
4. Cable USB tipo B para Arduino [55]	98
5. Adaptador de Voltaje 4 – 5V 3A [55]	98
Proceso de calibración de los sensores	98
Paso 1.....	99
Paso 2.....	99
Paso 3.....	100
4.1.2 Collector	100
4.1.3 Integrador.....	101
Software.....	101
1. Server	103
A. Back end.....	104
B. Front end	105
4.2 Documentación del desarrollo de la aplicación	107
4.2.1 Descripción de la metodología	107
4.2.2 Cronograma	108
4.2.3 Matriz de Riesgo	108

4.2.4 Plan de Mitigación	109
CAPÍTULO 5.....	111
Procesos realizados en el collector.....	111
5.1 Collection	111
Protocolo I2C	111
Descripción del circuito para el sensor HDC1008.....	114
Descripción del circuito para el Sensor de luz y proximidad AP3216 (CJMCU 3216) .	116
5.2 Pruning.....	121
5.3 Bundling	126
CAPÍTULO 6.....	135
Modelo de toma de decisiones	135
6.1 Las reglas instantáneas.....	135
6.2 Las reglas históricas.....	137
CAPÍTULO 7.....	139
Metodología.....	139
7.1 Planear	139
7.2 Diseñar	140
7.3 Desarrollar.....	140
7.4 Optimizar	141
7.5 Desplegar	141
CONCLUSIONES.....	148
BIBLIOGRAFÍA.....	150
ANEXOS.....	159

Tabla 1. Características principales del dispositivo Pico.	27
Tabla 2. Características principales del dispositivo Grow Wall.....	28
Tabla 3. Características principales del dispositivo Mkono.	29
Tabla 4. Características principales del dispositivo Parrot.	30
Tabla 5. Características principales del dispositivo iHarvest.	31
Tabla 6. Características principales del dispositivo OGarden Smart.	33
Tabla 7. Características principales del dispositivo Plantone.	34
Tabla 8. Características principales del dispositivo CounterCrop.....	35
Tabla 9. Características principales del dispositivo Herbstation.	36
Tabla 10. Características principales del dispositivo Miracle-Gro Twelve.....	37
Tabla 11. Características principales del dispositivo Herbert.	38
Tabla 12. Características principales del dispositivo PlantHive	39
Tabla 13. Características principales del dispositivo Smart Garden.	41
Tabla 14. Características principales del dispositivo Ava Byte.	42
Tabla 15. Características principales del dispositivo LeGrow L.	43
Tabla 16. Características principales del dispositivo Grow Box 2 Pallet Farm.....	44
Tabla 17. Tabla de dispositivos más eficientes.	51
Tabla 18. Costo total por la estructura del dispositivo.	59
Tabla 19. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	60
Tabla 20. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual. 60	
Tabla 21. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	61
Tabla 22. Costo total por la estructura del dispositivo.	63
Tabla 23. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	63
Tabla 24. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual. 64	
Tabla 25. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	64
Tabla 26. Costo total por la estructura del dispositivo.	67
Tabla 27. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	67
Tabla 28. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual. 68	

Tabla 29. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	68
Tabla 30. Costo total por la estructura del dispositivo.	70
Tabla 31. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	71
Tabla 32. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.	71
Tabla 33. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	72
Tabla 34. Costo total por la estructura del dispositivo.	75
Tabla 35. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	75
Tabla 36. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.	76
Tabla 37. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	76
Tabla 38. Costo total por la estructura del dispositivo.	77
Tabla 39. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	78
Tabla 40. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.	78
Tabla 41. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.....	79
Tabla 42. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de las ideas presentadas.....	80
Tabla 43. Costo total por la estructura del dispositivo.	83
Tabla 44. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	84
Tabla 45. Costo total de la estructura, y costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT.	84
Tabla 46. Costo total por la estructura del dispositivo.	85
Tabla 47. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo....	86
Tabla 48. Costo total de la estructura y el costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT.	86
Tabla 49. Listado de sensores y microcontroladores con su costo total.	93
Tabla 50. Historias de usuario que se deben seguir desde la adquisición del dispositivo hasta la cosecha del cultivo.	95
Tabla 51. Historias de usuario para la aplicación web.....	103
Tabla 52. Cronograma de actividades.	108
Tabla 53. Matriz de Riesgos	109

Tabla 54. Plan de Mitigación.....	110
Tabla 55. Listado de funciones AP3216 usadas en el código.	119
Tabla 56. Listado de funciones AP3216 usadas en el código.	121

GLOSARIO

BASE DE DATOS: Una base de datos es una colección de información organizada de forma que un programa de ordenador pueda seleccionar rápidamente los fragmentos de datos que necesite. Una base de datos es un sistema de archivos electrónico. Las bases de datos tradicionales se organizan por campos, registros y archivos.

HARDWARE: Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.

MONITOREO: El término monitoreo podría definirse como la acción y efecto de monitorear. Pero otra posible acepción se utilizaría para describir a un proceso mediante el cual se reúne, observa, estudia y emplea información para luego poder realizar un seguimiento de un programa o hecho particular.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN: Un protocolo de comunicaciones es un conjunto de normas que están obligadas a cumplir todas las máquinas y programas que intervienen en una comunicación de datos entre ordenadores sin las cuales la comunicación resultaría caótica y por tanto imposible.

SENSIBILIDAD: En electrónica, la sensibilidad es la mínima magnitud en la señal de entrada requerida para producir una determinada magnitud en la señal de salida, dada una determinada relación señal/ruido, u otro criterio especificado. En una curva de calibrado, la sensibilidad queda representada por la pendiente de la misma.

SENSOR: Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

SERVIDOR WEB: Un servidor web o servidor HTTP es un programa informático que procesa una aplicación del lado del servidor, realizando conexiones bidireccionales o unidireccionales y síncronas o asíncronas con el cliente y generando o cediendo una respuesta en cualquier lenguaje o Aplicación del lado del cliente.

SOFTWARE: Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

RESUMEN

En este proyecto se realiza el diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto en tiempo real de variables de interés (humedad, temperatura y radiación) con tecnología IoT para cultivos urbanos para desarrollo in house, mediante una metodología de diseño, desarrollo, construcción y despliegue de productos de agricultura urbana distribuida.

Buscando brindar más detalle del proyecto desarrollado, para realizar estudios posteriores y análisis según sea necesario este artículo se organiza como sigue: el capítulo 1 detalla el marco referencial del proyecto y menciona los objetivos del proyecto; la sección 2 muestra el estudio realizado a trabajos y proyectos similares para determinar los requerimientos mínimos e ideales para el nuevo dispositivo. La sección 3 presenta el análisis financiero de algunas alternativas caseras y finalmente se realiza la elección del diseño para el nuevo desarrollo, la sección 4 explica los requerimientos principales para el desarrollo del dispositivo tanto para hardware y software.

La sección 5 explica los procesos de IoT que se tiene que realizar para la recolección, almacenamiento y tratamiento de los datos, la sección 6 narra el funcionamiento del modelo de toma de decisiones; la sección 7 detalla la metodología desarrollada en este proyecto. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo, la bibliografía empleada para este trabajo y algunos anexos.

Para solucionar el problema se seleccionaron las variables de interés a monitorear con el fin de obtener datos completos del cultivo a analizar, seguido de esto se sigue la arquitectura de internet de las cosas de Francis daCosta. Para la adquisición de datos se emplea un controlador y sensores de bajo costo capaces de captar las variables seleccionadas de forma óptima, un sistema de comunicación capaz de transmitir de manera eficiente los datos obtenidos para ser almacenados y procesados. Por último, se tiene una aplicación web para la visualización de los datos.

Finalmente, como resultado se obtuvo una metodología de diseño, desarrollo, construcción y despliegue de productos de agricultura urbana distribuida empleando internet de las cosas para aplicarla en proyectos de investigación de seguridad alimentaria del grupo GIDATIC de la UPB.

PALABRAS CLAVE: Agricultura Urbana Distribuida, Baja Productividad Agrícola, Internet de las Cosas, Seguridad alimentaria, Sistema de Monitoreo Remoto.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se hace un desarrollo de Internet de las cosas, aplicado a los proyectos de seguridad alimentaria de la UPB de grupo GIDATIC. Un dispositivo capaz de monitorear luz, humedad y temperatura de un cultivo en un entorno específico brinda las herramientas necesarias para analizar la incidencia de estos en un proceso determinado, con el fin de tomar acciones correctivas y preventivas frente al desarrollo del cultivo. Este desarrollo ofrece gran variedad de aplicaciones en diversos campos de acción tanto en ingeniería como en el comercio actual.

Se propone una metodología estructurada con cinco fases que tiene la ventaja de ajustarse a las soluciones dependiendo de la comunidad donde se va a desarrollar.

Se resaltan las herramientas informáticas y tecnológicas adquiridas a lo largo de la formación profesional que permiten dar una solución completa y de bajo costo a esta problemática actual, demostrando así las habilidades adquiridas y el valor comercial de las mismas en el mercado laboral actual.

CAPÍTULO 1

Marco referencial

1.1 Marco contextual

El hambre es una sensación física incómoda o dolorosa, causada por un consumo insuficiente de energía alimentaria. Se vuelve crónica cuando la persona no consume una cantidad suficiente de calorías (energía alimentaria) de forma regular para llevar una vida normal, activa y saludable [1].

La estimación más reciente muestra que antes de la pandemia de la COVID-19, casi 690 millones de personas padecen hambre, es decir, el 8,9% de la población mundial, estaban subalimentadas (un aumento de unos 10 millones de personas en un año y de unos 60 millones en cinco años). Este dato pone de relieve el inmenso desafío que supone alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible del Hambre Cero (ODS 2) para 2030 [2].

Esta estimación se basa en nuevos datos sobre población y suministro de alimentos y, lo que es más importante, nuevos datos de encuestas por hogares que permitieron revisar la desigualdad del consumo de alimentos en 13 países, incluida China. Una evaluación preliminar sugiere que la pandemia de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) puede añadir entre 83 y 132 millones de personas al número total de personas subalimentadas en el mundo en 2020, en función de la hipótesis de crecimiento económico.

Se entiende por seguridad alimentaria “cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias, para llevar una vida activa y sana”. La seguridad alimentaria se basa en cuatro pilares [3]:

1. La disponibilidad física de alimentos
2. El acceso económico y físico a alimentos
3. La utilización apropiada y sana de alimentos
4. La estabilidad de estos factores en el tiempo

Entonces, la inseguridad alimentaria puede empeorar la calidad de las dietas y, en consecuencia, incrementar el riesgo de diversas formas de malnutrición, lo cual puede conducir a la desnutrición, así como al sobrepeso y la obesidad. En 2019, cerca de 750 millones de personas, o casi una de cada 10 personas en el mundo, se vieron expuestas a niveles graves de inseguridad alimentaria. Teniendo en cuenta el número total de personas afectadas por la inseguridad alimentaria moderada o grave, se estima que unos 2 000 millones de personas en el mundo no disponían de acceso regular a alimentos inocuos, nutritivos y suficientes en 2019 [2].

Según Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la población mundial llegará a 9.100 millones de personas en 2050 por esto será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 % a fin de alimentar de forma adecuada a la población mundial produciendo el tipo de alimentos que faltan para garantizar la seguridad alimentaria. La producción de varios productos básicos fundamentales casi tendría que duplicarse, por ejemplo, la producción anual de cereales tendría que incrementarse en casi mil millones de toneladas, y la producción de carne en más de 200 millones de toneladas, hasta alcanzar un total de 470 millones de toneladas en 2050 [4].

Basándose en los datos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), entidad adscrita al Ministerio de Agricultura, la FAO indicó que Colombia es uno de los países que tiene la capacidad de ser despensa agrícola del mundo, ya que el país cuenta con más de 26,5 millones de hectáreas que tienen vocación para ser cultivadas es decir más de 23% del suelo nacional (114 millones de hectáreas tiene Colombia), en relación con las 42.9 millones de hectáreas de los suelos más aptos. Sin embargo, a fin de desarrollar su gran potencial el país deberá resolver varias problemáticas importantes como el uso ineficiente del suelo que tienen que ver con la debilidad en el proceso de planificación del uso del suelo, la informalidad, la falta de infraestructura, la falta de tecnificación para una producción sostenible, el cierre de brechas digitales en las regiones periféricas que permitan a los agricultores obtener información veraz y oportuna enfocadas a tomar mejores decisiones en cuanto al manejo integral de cultivo, posibilitando una mayor productividad y competitividad de las regiones basado en la agricultura de precisión [5].

En este sentido, el Gobierno Nacional ha establecido una serie de estrategias en el CONPES 3918 que permitirán alcanzar las metas establecidas en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [5].

Por otra parte, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en su Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas, pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia, estableció que, la oferta nacional disponible de alimentos de 28,5 millones de toneladas. Sin embargo, en Colombia se pierden y se desperdician un total de 9,76 millones de toneladas, lo cual equivale al 34 % del total. El 40,5 % del total de alimentos perdidos y desperdiciados, corresponde a pérdidas que se ocasionan en la etapa de producción. Lo cual es un problema porque se está desaprovechando la oportunidad de garantizar la seguridad alimentaria de toda la población, más aún cuando disminuir la pérdida y el desperdicio de alimentos es un propósito mundial a partir de la aprobación de los ODS. Específicamente en este tema, el compromiso establece la obligación de “reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha” (Naciones Unidas, 2015) [5].

En ese sentido, se encuentra en un contexto que permite aportar soluciones para este problema de interés mundial, mediante herramientas tecnológicas de la cuarta revolución industrial.

La cuarta revolución industrial no se trata solo de máquinas y sistemas inteligentes y conectados. Su alcance es mucho más amplio. Ocurren simultáneamente oleadas de nuevos avances en áreas que van desde la secuenciación de genes hasta la nanotecnología, desde las energías renovables hasta la computación cuántica. Es la fusión de estas tecnologías y su interacción a través de los dominios físico, digital y biológico lo que hace que la cuarta revolución industrial sea fundamentalmente diferente de las revoluciones anteriores. En esta revolución, las tecnologías emergentes y la innovación de base amplia se están difundiendo mucho más rápido y más ampliamente que en las anteriores, que continúan desarrollándose en algunas partes del mundo [6].

Una de las herramientas tecnológicas de la cuarta revolución industrial que permite afrontar los retos que presenta la baja productividad y la inseguridad alimentaria se encuentra presente en el Internet de las cosas. Este concepto interconecta diferentes operadores y servicios para mejorar las funcionalidades y la calidad de vida de los ciudadanos. Para ello, las Ciudades Inteligentes confían en una arquitectura de Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) para recuperar, procesar e intercambiar datos [6].

1.2 Marco conceptual

En el siguiente capítulo se explicarán los conceptos teóricos básicos necesarios para la total comprensión de este trabajo.

- Cuarta Revolución Industrial: El término Industria 4.0, acuñado por el Gobierno de Alemania, responde a la denominada estrategia dual alemana que busca seguir liderando la oferta de equipos y soluciones para la producción industrial y su aplicación en entornos industriales mediante la integración de las cadenas de valor y la digitalización de todo el proceso productivo. El nombre 'Industria 4.0' fue creado por Mark Watson, alto ejecutivo alemán (IHS), para destacar el reto para la 4ª revolución industrial: "el desarrollo de software y sistemas de análisis que sean capaces de transformar el enorme volumen de datos producidos por las empresas, las fábricas, los clientes, los usuarios y los mercados en información útil y valiosa para todos [7]."
- IoT: Se conoce como Internet de las cosas a la capacidad de crear conexión entre objetos del mundo cotidiano, procesos, internet y personas, logrando una interconexión en la cotidianidad, permitiendo compartir información y almacenarla si se desea en bases de datos propiamente creada para tal fin [8], así teniendo un control y acceso a esta información desde cualquier parte en la que se encuentre una persona, obviamente contando con acceso a internet [9], [10].

- Smart Cities: El BID lo define como: Una Ciudad Inteligente es aquella que coloca a las personas en el centro del desarrollo, incorpora Tecnologías de la Información y Comunicación en la gestión urbana y usa estos elementos como herramientas para estimular la formación de un gobierno eficiente que incluya procesos de planificación colaborativa y participación ciudadana. Al promover un desarrollo integrado y sostenible, las Ciudades Inteligentes se tornan más innovadoras, competitivas, atractivas y resilientes, mejorando así vidas [11].
- Agricultura de precisión: Es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental [12]. Con este enfoque, las ventajas de la agricultura de precisión sobre la tradicional son claras y contundentes debido a la posibilidad de utilizar los insumos en dosis adecuadas y de acuerdo con la real necesidad del cultivo. Este manejo del ambiente permite la aplicación de insumos solo en las áreas en las que resulta necesario y en donde la respuesta de esta intervención tendrá un claro beneficio económico. Se identifica además una ventaja sobre la sostenibilidad ambiental de la producción, ya que se evita la aplicación de insumos en general y de agroquímicos en particular en las áreas en que no son necesarios o se requieren en cantidades inferiores. Esto que permite una disminución del impacto sobre el medio ambiente y una significativa reducción de los recursos energéticos, lo que seguramente aportará a la mitigación del cambio climático global [13].
- Agricultura Urbana: Se denomina a la producción de alimentos dentro de los confines de las ciudades: en los patios, terrazas, huertos comunitarios y huertas de frutales, así como en espacios públicos o no aprovechados [13].
- Arquitectura de IoT: La arquitectura de IoT requiere un enfoque mucho más orgánico en comparación con las redes tradicionales porque representa una frontera extrema en las comunicaciones. El alcance y la amplitud de los dispositivos que se conectarán son enormes, y las conexiones a los bordes de la red donde se colocarán estos dispositivos serán de "baja fidelidad": baja velocidad, con e intermitentes. Al mismo tiempo, gran parte de la comunicación será de máquina a máquina y en pequeños fragmentos de datos, lo que es completamente opuesto a redes como la Internet tradicional. Francis daCosta desarrolló el concepto de una arquitectura de IoT de tres niveles: end device; nodos propagadores especializados en redes y funciones integradoras de búsqueda de información [14].

- Almacenamiento en nube: Cloud Computing, o computación en la nube, es el nombre dado a un concepto que hace referencia a la entrega de recursos computacionales ofrecidos de manera remota y en tiempo real, de esa manera, las empresas pueden acceder a diferentes servicios tecnológicos en cualquier parte del mundo a través del internet, sin la preocupación de mantener un data center local. Los modelos consideran las ofertas de software, plataforma o infraestructura presentado tres modelos principales: IaaS (Infrastructure-as-a-service), PaaS (Platform-as-a-service) e SaaS (Software-as-a-service). Los recursos computacionales entregados por medio de la Cloud poseen tres modelos principales: nube pública, nube privada y nube híbrida [15].

Microsoft Azure: Microsoft Azure es un servicio de computación en la nube creado por Microsoft para construir, probar, desplegar y administrar aplicaciones y servicios mediante el uso de sus centros de datos. Microsoft Azure es un servicio de pago [16].

Amazon Web Services: es una colección de servicios de computación en la nube pública que en conjunto forman una plataforma de computación en la nube, ofrecidas a través de Internet por Amazon.com. Es usado en aplicaciones populares como Dropbox, Foursquare, HootSuite. AWS es un servicio de pago [17].

Google Cloud: es una plataforma que ha reunido todas las aplicaciones de desarrollo web que Google estaba ofreciendo por separado. Google Cloud es un servicio de pago [18].

Servicio de computación en la nube de IBM: es un conjunto de servicios de computación en la nube para empresas que ofrece la compañía de tecnología de la información IBM. IBM es de pago [19].

- Sensores para agricultura urbana: Toda planta en crecimiento necesita tres cosas básicas: luz, agua y nutrientes. En la agricultura tradicional, las plantas crecen en el exterior y el sol proporciona la luz, los sistemas de riego suministran el agua y el suelo proporciona los nutrientes que las plantas necesitan para crecer. La hidroponía es una forma diferente de agricultura que se realiza en interiores y se refiere al cultivo de plantas en agua rica en nutrientes sin el uso de suelo. Dado que la hidroponía es una tecnología de interior, la iluminación es fundamental. Los sistemas hidropónicos se pueden integrar en invernaderos donde utilizan la luz natural del sol o se pueden integrar en cualquier edificio mediante el uso de iluminación artificial. Además, dado que el suelo generalmente proporciona a las plantas en crecimiento los nutrientes que necesitan, en hidroponía, es necesario complementar el agua con los catorce nutrientes y minerales esenciales que las plantas necesitan [20]. Teniendo en cuenta lo anterior se define que los sensores más importantes para el sensado de un cultivo son los de luz, humedad y temperatura. Pero si se desea tener un mayor control de variables del cultivo se puede añadir un sensor de PH también.

1.3 Marco legal

El Estado Colombiano, como Estado Social de Derecho, ha consolidado un bloque normativo que busca regular el uso de los contenidos protegidos por el derecho de autor y los derechos conexos, que son masivamente publicados, almacenados, descargados o transmitidos a través de la red global de información. En particular regula la responsabilidad civil que se deriva de las infracciones al derecho de autor y los derechos conexos en el entorno de las redes informáticas y especialmente, la Internet [21].

Se conoce como "Ley Lleras" a una serie de proyectos de ley que modifican el derecho de autor, siendo el primero el Proyecto de ley 241 de 2011, este proyecto de ley que buscaba regular la responsabilidad de los proveedores de servicios de Internet frente a las infracciones de derechos de autor de los usuarios. El primer capítulo de la 'Ley Lleras' se ocupa de definir el marco general de este mecanismo según el tipo de servicio que prestan los PSI, por ejemplo, los PSI que transmiten los datos infractores no debían manipularlos o seleccionarlos, y aquellos que los alojan no debían estar recibiendo ningún beneficio atribuible a la actividad infractora. Son estas las condiciones que, según el proyecto, determinaba que los PSI fueran en realidad simples intermediarios, ajenos a la infracción de derechos de autor del usuario de Internet [21].

El segundo capítulo del proyecto desarrolla el proceso de notificación y enumeraba los elementos que debían tener las solicitudes de retiro y de restablecimiento. Adicionalmente, facultaba al juez para decretar medidas cautelares o definitivas como cancelar el servicio de Internet de un usuario 'reincidente', y para entregar al titular del derecho de autor información sobre éste, incluida la confidencial (por ejemplo, el historial de búsquedas o de navegación del usuario). Por último, este capítulo contemplaba una pena de hasta ocho años de prisión para quienes hicieran accesible al público, a través de una red digital, cualquier material protegido por derechos de autor o derechos conexos con fines comerciales. El artículo 271 del Código Penal ya prevé ese delito acaso de manera más general pero igualmente aplicable, y su pena fue aumentada a un máximo de ocho por la Ley 1032 de 2006 [21].

1.4 Estado del arte

La agricultura tradicional es altamente vulnerable al cambio climático y a la presencia de enfermedades y plagas, que cada vez son más nocivas y resilientes a los agroquímicos habituales [22]. Este tipo de agricultura se caracteriza por la utilización de técnicas rudimentarias, sin embargo, a fin de desarrollar su gran potencial se deberá resolver varias problemáticas importantes como el uso ineficiente del suelo que tienen que ver con la debilidad en el proceso de planificación del uso del suelo [23], [5].

Los sistemas de cultivo vertical (VFS) e hidropónicos se han propuesto como una estrategia para aumentar la productividad por unidad de superficie, extendiendo la producción de los cultivos a la dimensión vertical, mejorando las condiciones ambientales [24].

Las tecnologías de la hidroponía se caracterizan por no requerir del suelo para el crecimiento de las plantas. Las funciones del suelo para el suministro de nutrientes y soporte de las plantas es sustituido, por estructuras verticales, como tubos, a través de los cuales se suministra los nutrientes por intermedio de un flujo de agua. Al eliminar el suelo, también se eliminan las enfermedades y malezas transmitidas por el suelo y se puede tener un control más preciso sobre los requerimientos nutricionales de la planta. De esta manera, se pueden desarrollar con menor estrés, madurar más rápidamente, teniendo una mejor calidad y productividad por unidad de superficie [24]. Al excluir el suelo no solo se suprimen las enfermedades o malezas que puede transmitir por este medio, sino que también se elimina el uso de sustancias químicas que pueden contaminar el cultivo.

Para producción de diferentes cultivos, se vienen utilizando y proponiendo diferentes técnicas de sistemas hidropónicos, por ejemplo: los de lecho de grava (gravel bed), bolsa flotante y la técnica de película de nutrientes (NFT) [25], también sistemas donde los nutrientes de las plantas son suministrados a partir de desechos de peces, mientras que las plantas eliminan desechos del agua residual [26]. En [25] se realiza un estudio con diferentes sistemas, tomando como base el cultivo de la lechuga, midiendo la productividad en términos de rendimiento de biomasa, y la capacidad eliminación de nitratos y fosfatos mostrando diferentes desempeños. En la producción, los sistemas son buenos en términos estadísticos, mostrando mejor desempeño con los lechos de grava, pero sin diferencias significativas.

Con relación a la distribución espacial, existen diferentes alternativas de la forma como se estructuran los cultivos para aprovechar mejor el espacio físico. En [26], se realiza un estudio comparativo entre los cultivos horizontales y cultivos verticales usando columnas cilíndricas verticales (VFS), mostrando una mayor productividad para este último. Considerando las diferentes clases de cultivos, muchas innovaciones pueden ser llevadas a cabo, para aprovechar el espacio y aumentar los niveles de productividad.

En el contexto de los cultivos verticales, existe otra tendencia, que es desarrollado dentro del concepto de ciudades inteligentes y sostenibles, donde se busca la renaturalización del territorio. Dentro de esta tendencia se destacan los cultivos urbanos, que se presentan como una alternativa, para reducir problemas asociados a limitación en tierras agrícolas ya que permiten realizar actividades agrícolas productivas, contribuyendo al mismo tiempo, al enverdecimiento del área urbana. En [27] se proponen un modelo de construcción que integra la agricultura urbana, basados en coberturas verdes, que consideran las fachadas, el techo, las paredes y el balcón, como áreas propicias para la agricultura. Esta técnica actualmente viene siendo implementada en indonesia con éxito.

Por otra parte, como recurso para mejorar los procesos de planeación, control y predicción en las actividades agrícolas, se vienen introduciendo sistemas derivados de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, lo que se ha llamado agricultura inteligente y de precisión. El uso de información y la disposición de datos apropiados, permite mejorar la productividad y disminuir los daños al medio ambiente; contribuyendo positivamente en el aumento de la competitividad del sector agroindustrial [28], [29].

Para amentar los rendimientos se requiere de un excelente manejo integrado de plagas y enfermedades, así como de mejoras en los métodos, densidades y épocas de siembra y de inducción floral, al igual que controles efectivos en los procesos de cosecha y pos-cosecha. Para lograrlo se requiere de una agricultura específica por sitio, que permita hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno [30]. En este sentido el desarrollar una herramienta de planificación agrícola, mejorará los procesos de trazabilidad de información y planificación, al mismo tiempo que le permitirá a los agricultores y planificadores agrícolas, aumentar la capacidad de gestión y asignar los recursos de una manera más eficiente. Con la introducción de la digitalización agrícola, la agricultura tradicional ha sido reformada por las TIC avanzadas, contribuyendo eventualmente a las mejoras significativas en la productividad agrícola y la sostenibilidad [31]. El concepto de agricultura de precisión, basado en tecnología de la información, se está convirtiendo en una idea atractiva para la gestión de recursos naturales y la realización de un desarrollo agrícola moderno y sostenible [32]. Estas tendencias, se convierten en una gran oportunidad para incorporar una transformación en la práctica agrícolas, contribuyendo al bienestar los pequeños y medianos agricultores.

1.5 Fundamentación del proyecto

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología para el despliegue de productos de agricultura urbana distribuida empleando internet de las cosas para aplicarla en proyectos de investigación de seguridad alimentaria del grupo GIDATIC de la UPB.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.
- Implementar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.

- Analizar el desempeño de una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas desarrollada en un caso de estudio aplicado mejorando las características de funcionamiento y generalización.
- Proponer una metodología replicable y generalizada de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.

CAPÍTULO 2

Levantamiento de prerequisites

A continuación, se hace una descripción de los trabajos y proyectos similares, tanto de orden comercial, como de investigación, y se muestran las principales características de cada uno de ellos. Posteriormente se hace un análisis de la eficiencia de cada uno de los sistemas y se comparan para determinar las ventajas, desventajas y elaborar un listado de requerimientos mínimos e ideales que nuestra propuesta debe tener para ser competitivo en el entorno actual.

2.1.1 PICO: A garden in your palm. Growing is fun again!

Cultivar plantas en interiores durante todo el año puede ser difícil porque requieren mucha luz solar directa para prosperar. Desafortunadamente, no se puede transportar la luz del sol para asegurarse de que sus plantas obtengan la energía que necesitan. El objetivo de PICO es acompañar a las personas que deseen cultivar sus alimentos en casa sin necesidad de fertilizantes o pesticidas. Esto saca a relucir prácticas sostenibles en la alimentación, teniendo un mayor aprecio por los productos frescos entre los miembros de la familia.

Las luces de cultivo LED de espectro múltiple de Pico, permiten dar la suficiente luz que la planta necesita. Alimentado por LED de alto rendimiento y bajo consumo de OSRAM, Pico proporciona todas las longitudes de onda de luz necesarias para reemplazar el sol por completo y permitirle cultivar plantas durante todo el año. Los LED están montados en un brazo telescópico fácilmente ajustable con reminiscencias de una antena de radio antigua, crece junto a las plantas. A medida que se extienden hacia la luz, extienda el dispositivo hasta 30.48 cm. La ventana transparente le permite saber cuándo es el momento de recargar, normalmente una vez a la semana. El autorriego actúa con acción capilar y mantiene un equilibrio de saturación de agua. Una vez que las raíces de las plantas absorben agua, la mecha capilar transmite la misma cantidad de agua hacia arriba desde el depósito de agua de abajo lo que permite que las plantas crezcan más rápido y más saludables debido también a la oxigenación de las raíces desde abajo, proporcionada por los orificios de ventilación [33].

Fabricante	Altifarm Enverde
Público	Para personas que deseen iniciar a cultivar sus propias plantas de forma orgánica y sin productos químicos.
Lugares de uso y/o instalación	Restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares, centros de mesa y baños
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de pH - Sensor de temperatura

	- Sensor de riego
Dimensiones (cm)	
Ancho	6.3
Largo	8.2
Alto	42.5
Consumo energético diario (KWh)	
Energía	5 V - 1 A y superior
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Luces de cultivo LED de espectro múltiple - Disipador de calor de aluminio - 4 LED hortícolas de OSRAM de 3 longitudes de onda variables (blanco, rojo y azul)
Mecánicos	- Soportes intercambiables (magnético, velcro, montaje en pared) - Materiales ABS y PC sin BPA aptos para alimentos - Brazo telescópico es de acero inoxidable
Capacidad de plantación	1 por PICO
Tipo de cultivo	Pico le ayuda a cultivar la mayoría de las plantas ornamentales, hierbas comestibles como albahaca y menta, e incluso algunas frutas y verduras como tomate cherry y chiles.
Tamaño del cultivo	22 cm de alto y si las plantas caen tipo cascada, el tamaño depende de que tan alto coloques a PICO.

Tabla 1. Características principales del dispositivo Pico.

2.1.2 Grow Wall

Es un sistema de cultivo hidropónico todo en uno diseñado para cultivos domésticos o comerciales de alto rendimiento durante todo el año. Con un diseño vertical que ahorra espacio. Grow Wall puede cultivar una variedad de verduras y hierbas en cinco niveles diferentes, crean una exhibición visual impresionante. Además, con todas sus plantas vivas que respiran, actúa como un Bio-Air Refresher y proporciona iones negativos y oxígeno fresco al espacio interior.

Grow Wall es extremadamente eficiente y utiliza un 90% menos de agua que la jardinería convencional. La luz solar que simula las luces LED de alta intensidad crea el espectro de color completo que ayuda a las plantas a prosperar, asegurando el crecimiento más eficiente. El sistema de control automatizado gestiona las luces y la circulación del agua, haciendo que el cultivo sea muy sencillo [34].

Fabricante	OPCOM
Precio	US\$ 899
Público	Para personas interesadas en cultivar plantas utilizando soluciones de nutrientes minerales, en agua, sin tierra.
Lugares de uso y/o instalación	Colegios, restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de pH - Sensor de temperatura - Sensor de CE
Dimensiones (mm)	
Ancho	1200
Largo	333
Alto	1625
Peso (Kg)	21,2
Consumo energético diario (KWh)	
AUTO	1.9
ON	3.7
HI	2.4
LOW	1.2
Range	1.2 -3.7
Energía	CA 100V / 220V +/- 10%
Temperatura	18°C – 28°C (64.4°F – 82.4°F)
Capacidad de agua (galones / L)	45L (20 * 30 * 95 cm * 80%)
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Controlador del sistema - Tubos LED de 4 pies - Ajustador de pH - Medidor de CE
Mecánicos	- Cestas de plantación - Tubos - Esponjas de cultivo - Bomba de aire - Pinzas - Soportes de montaje para la pared - Tubería de agua
Capacidad de plantación	75
Tipo de cultivo	Lechuga, orégano, albahaca, menta, tomillo, rugula, espinaca, perejil, romero y salvia.
Tamaño del cultivo	100 * 160mm - 140mm *160mm

Tabla 2. Características principales del dispositivo Grow Wall

2.1.3 Mkono - Macetero de plástico para riego automático

Mkono, la maceta de riego automático añade simplicidad y estilo moderno al cuidado de las plantas, ideal para uso de interiores o exteriores. Gracias al diseño de doble capa esta maceta inteligente permite almacenar el exceso de agua en la parte inferior de esta y proporcionar hasta 10 días o más de riego por llenado.

Las plantas a través de la cuerda de algodón pueden absorber la humedad y los nutrientes necesarios, esto permite una circulación óptima del aire y permite mantener las raíces saludables. Tenga en cuenta que el riego de la planta no puede exceder el nivel de agua dentro de la cesta interior, ya que esto podría causar muerte de la planta por inundación. Mkono cuenta con 3 tamaños diferentes los cuales son S, M y L [35].

Fabricante	Mkono
Precio	US\$ 14.99
Público	Para personas que desean cultivar sus propias plantas y que por lo general carecen de tiempo para estar pendientes de ellas.
Lugares de uso y/o instalación	Todo tipo de espacios
Características de Hardware	
Tipo de sensores	- Sensor de pH - Sensor de temperatura - Sensor de CE
Dimensiones (pulgadas)	
Ancho	5.2
Largo	5.2
Alto	5.4
Peso (libras)	0.5
Nivel del tanque de agua	0,4
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Mecánicos	- Plástico
Capacidad de plantación	1 planta por maceta
Tipo de cultivo	Para plantas ornamentales
Tamaño del cultivo	Depende del tipo de cultivo

Tabla 3. Características principales del dispositivo Mkono.

2.1.4 Parrot Maceta Inteligente

Parrot Pot es una maceta inteligente conectada que ayuda a mantener saludables los cultivos. Cuenta con un sistema de riego inteligente y cuatro sensores que envían los valores medidos al Smartphone vía Bluetooth. Parrot tiene una base de datos de más de 8.000 plantas para ayudarle a optimizar las condiciones de crecimiento y atender de manera

permanente las necesidades de la planta. El sistema de riego automático con una reserva de agua de 2,4 litros permite que las plantas siempre tengan el nivel de agua necesario, permitiendo que las raíces puedan absorber los minerales que necesitan [36].

Fabricante	Parrot S.A.
Precio	149,90 €
Público	Para personas que deseen cultivar plantas para decoración del hogar, con o sin experiencia en el tema de cultivo.
Lugares de uso y/o instalación	Uso en interior y/o exterior
Características de Hardware	
Fuente de energía	Pilas 4 AA
Tipo de sensores	Integra 4 sensores (humedad, fertilizante, luz y temperatura)
Dimensiones (cm)	
Diámetro	20.5
Ancho	20.5
Alto	31.2
Peso (Kg)	1,5
Capacidad de agua	2,4 litros
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Sensor de humedad - Sensor de fertilizante - Sensor de luz - Sensor de temperatura
Mecánicos	- Polipropileno
Capacidad de plantación	1 por cada maceta
Tipo de cultivo	Plantas ornamentales
Tamaño del cultivo	Depende del tipo de cultivo
Incluye	- Aplicación móvil - Conexión a Bluetooth

Tabla 4. Características principales del dispositivo Parrot.

2.1.5 iHarvest

iHarvest es un sistema de jardinería interior totalmente automatizado que te permitirá cultivar hasta 30 frutas, verduras y hierbas (aromáticas) durante todo el año con el poder de la hidroponía. Al usar un sistema hidropónico, iHarvest puede cultivar plantas de un 30% a un 50% más rápido que la jardinería tradicional. Además, este sistema fue diseñado específicamente para funcionar incluso en los apartamentos más pequeños, ya que ocupa solo 0.23 metros cuadrados de espacio.

Este sistema está completamente automatizado, lo cual le permite no tener que preocuparse por regar las plantas o incluso tener que encender y apagar las luces. Los temporizadores incorporados se asegurarán de que sus plantas obtengan la cantidad

óptima de agua y luz solar todos los días.

El agua del depósito sube por el sistema con la ayuda de una bomba, esta a su vez pasa por todo el sistema radicular de cada planta lo que permite entregarle a cada planta la cantidad adecuada de agua. Finalmente, el agua corre a través de un sistema de filtrado y regresa al depósito inferior. Para iniciar con el uso de iHarvest, lo único que se debe hacer es enchufarlo y llenar el depósito con agua y nutrientes cada dos semanas aproximadamente [37],[38].

Fabricante	IGWorks
Precio	US\$ 599
Público	Para personas interesadas en cultivar sus propios alimentos sin el uso de pesticidas, herbicidas y productos químicos no deseados.
Lugares de uso y/o instalación	Cualquier habitación y en los apartamentos más pequeños.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de pH - Sensor de riego - Sensor de CE
Dimensiones (pulgadas)	
Ancho	32
Largo	6
Alto	60
Consumo energético diario (W)	
Energía	72 W
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Lámparas LED - Medidores de pH - Medidor de CE - Medidor de TDS - Temporizador para las luces - Temporizador para el recorrido del agua
Mecánicos	- Soportes de aluminio para las luces - Barras metálicas para sujetar las plantas - Bomba - Cestas de plantación - Filtro - Manguera
Capacidad de plantación	30
Tipo de cultivo	Hierbas comestibles, frutas y verduras
Tamaño del cultivo	Depende del tipo de cultivo

Tabla 5. Características principales del dispositivo iHarvest.

2.1.6 OGarden Smart

Este jardín interior con sistema de riego automático te permite sembrar hasta 90 vegetales, frutas y hierbas al mismo tiempo. El riego automático hace que el uso de OGarden Smart sea prácticamente sin esfuerzo, y los LED automáticos de bajo consumo de energía simulan la cantidad perfecta de luz solar, ofreciendo un crecimiento óptimo durante todo el año.

Cuando sea el momento de llenar, llene el tanque de agua en la parte inferior del gabinete. Los sensores de nivel de agua mostrarán una notificación en la pantalla indicando que debe llenarla.

El agua del tanque se lleva a la placa y la rueda de cultivo mediante 2 bombas. El programa de riego es independiente, por lo que el plato y la rueda son independientes. La rueda giratoria le da a cada planta la capacidad de obtener la cantidad correcta de agua que necesitan para prosperar, solo tiene que llenar el tanque de agua cuando el sistema se lo indique y la programación gestiona automáticamente el riego de aspersores y ruedas [39], [40].

Fabricante	OGarden
Precio	US\$ 645
Público	Para personas interesadas en la producción de alimentos frescos y orgánicos en la comodidad de su hogar.
Lugares de uso y/o instalación	Hogares, oficinas, restaurantes, colegios, etc.
Incluye	- 30 semillas por la compra
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de pH - Sensor de temperatura - Sensor de CE - Sensores de nivel de agua
Dimensiones (cm)	
Ancho	38.10
Largo	73.65
Alto	134.60
Consumo energético diario (W)	
Energía	120
Temperatura	16 – 26°C
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Disco rotador - Lámpara con luces LED
Mecánicos	- Contenedores de cultivo - Tanque de agua

	- Bomba
Capacidad de plantación	90
Tipo de cultivo	Hierbas, frutas y verduras
Tamaño del cultivo	Depende del tipo de cultivo

Tabla 6. Características principales del dispositivo OGarden Smart.

2.1.7 Plantone: Smartest Mini Indoor Garden

Plantone es un sistema de iluminación, riego y plantación todo en uno que permite a los usuarios cultivar hasta 5 especies diferentes a la vez. Para la mayoría de las especies de plantas, regar todos los días no es beneficioso en absoluto por ejemplo las suculentas y otras plantas del desierto requieren poca o nada de agua. Con Plantone, puede ajustar cada maceta automática para controlar la cantidad de agua que se filtra en la maceta. Después de una búsqueda rápida a través de la aplicación, ajuste cada maceta de acuerdo con la especie de planta.

Con un tanque de agua automático, combinado con un sensor de torre de luz inteligente permite que las plantas siempre obtengan los nutrientes necesarios. La causa número 1 de muerte de las plantas de interior se debe al riego excesivo o insuficiente, pero con Plantone eso no sucederá ya que las cestas automáticas se asientan en la unidad flotante. A medida que llena el tanque, la acción flotante crea presión osmótica, lo que ayuda a Plantone a distribuir la misma cantidad de agua a las plantas sin importar cuánto se llene el tanque [41].

Fabricante	Plantone
Precio	US\$ 199
Vida útil	Más de 6 años
Público	Para personas interesadas en cultivar plantas utilizando soluciones de nutrientes minerales, en agua, sin tierra.
Lugares de uso y/o instalación	Restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de luz inteligente - Sensor de control de temperatura LED - Sensor de Humedad - Sensor de nivel de luz (fotodiodo) - Sensor de calidad del aire (el sensor de CO2)
Dimensiones (cm)	
Ancho	29
Alto	46
Peso (Kg)	1.9
Consumo energético diario	

LEDs	15 W
Energía	220V ~ 240V
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Torre de luces - Microprocesador - Sistema de enfriamiento - También tiene un chip WiFi y Bluetooth integrado, así como un reloj interno en tiempo real para mantener el tiempo para sus horarios de luz personalizados.
Mecánicos	- Cestas de plantación automáticas - Tanque de agua - Unidad flotante
Capacidad de plantación	5
Tipo de cultivo	Hierbas, frutas, verduras y plantas ornamentales.
Incluye	Aplicación móvil

Tabla 7. Características principales del dispositivo Plantone.

2.1.8 CounterCrop: The Modern Way to Grow Your Own Food

CounterCrop es el jardín interior inteligente y autónomo que le permite cultivar verduras de excelente sabor. La iluminación LED optimizada de CounterCrop brinda la cantidad y el espectro de luz adecuados a las plantas en función de su etapa de crecimiento específica, estas luces también emplean biomimetismo, un avance clave que permite que nuestras luces LED imiten los patrones de iluminación asociados con el amanecer, el atardecer y la estacionalidad. Esto da como resultado ciclos de crecimiento más rápidos y plantas más fuertes y saludables.

CounterCrop tiene un sistema de riego exclusivo de circuito cerrado de "flujo y reflujo" que suministra agua y nutrientes de manera eficiente a las plantas cuando lo necesitan, en silencio. Mantiene el jardín autónomo y limpio al inundar suavemente las raíces con agua rica en nutrientes y luego drenarla nuevamente al depósito integrado, y es fácil ver cuándo necesita agregar agua al sistema [42].

Fabricante	CounterCrop
Precio	\$ 379-399
Público	Especial para quienes deseen tener alimentos cultivados de manera rápida y libres de productos químicos no deseados.
Lugares de uso y/o instalación	Cocinas, colegios, hogares, etc.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de humedad

Dimensiones (mm)	
Ancho	305
Largo	560
Alto	4
Alto – Barra de luz (cm)	30 – 45
Peso (Kg)	4
Consumo energético por 16 h	
Energía (W)	65
Capacidad de agua (galones / L)	1 galón
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Luces LED - Control remoto - Sistema de riego Ebb & Flow - Transformador de energía
Mecánicos	- Base para luces - Barra de luces led - Anillo de ajuste - Bandeja de plantación - Bandeja de recolección de agua - Bomba - Tanque de agua
Capacidad de plantación	50
Tipo de cultivo	Vegetales y hierbas
Tamaño del cultivo	Depende del cultivo

Tabla 8. Características principales del dispositivo CounterCrop.

2.1.9 Herbstation: The easiest way to grow at home

Permite cultivar productos frescos durante todo el año, utilizando tierra de jardín o hidroponía sin tierra. Con el sistema de riego automático todo lo que necesita hacer es simplemente recargar el nivel del agua cada fin de semana aproximadamente. Almacena agua durante 7-10 días y proporciona riego a demanda, mediante la acción capilar y la gravedad. Con la aireación de las raíces, las plantas crecen más rápido y más saludables. Además, las luces de cultivo LED brindan un 100% de autonomía de la luz solar [43].

Fabricante	Altifarm Enverde LLC
Precio	US\$ 249
Público	Personas que deseen cultivar productos frescos y quieran saber que alimentos comen durante todo el año, sin el uso de productos químicos.
Lugares de uso y/o instalación	Colegios, restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica

Tipo de sensores	- Sensor de humedad - Sensor de temperatura - Sensor de CO ₂
Dimensiones para un Herbstation de un módulo (pulgadas)	
Ancho	10
Largo	22
Alto	19
Peso (Kg)	3.5
Dimensiones para un Herbstation de dos módulos (pulgadas)	
Ancho	11
Largo	22
Alto	40
Peso (Kg)	8.5
Dimensiones para un Herbstation de tres módulos (pulgadas)	
Ancho	13
Largo	22
Alto	65
Peso (Kg)	12
Capacidad de agua (L)	4
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- LED de chip OSRAM de alta potencia y eficiencia energética de 3 W - Lentes ópticos
Mecánicos	- Cestas de plantación - Soportes de montaje para la pared
Tipo de cultivo	Hierbas (aromáticas), frutas, verduras, microvegetales y flores. Con limitación de plantas con raíces muy profundas.

Tabla 9. Características principales del dispositivo Herbstation.

2.1.10 Sistema de cultivo interior Miracle-Gro Twelve

El sistema de cultivo de interior Miracle-Gro Twelve es un jardín hidropónico todo en uno que le permite cultivar su comida favorita en la comodidad de su hogar. Este sistema está pensado para crear las condiciones de cultivo perfectas para que las hierbas (aromáticas) y las verduras de hoja verde prosperen en el interior. El agua circula a través del sistema para proporcionar a la planta la humedad y los nutrientes continuos que las raíces necesitan para crecer.

La iluminación especialmente diseñada proporciona la cantidad adecuada de luz para que las plantas crezcan. Puede ajustar el brillo de la luz tocando la parte superior de la persiana o usando la aplicación Miracle-Gro Twelve. La aplicación se conecta al sistema con tecnología inalámbrica Bluetooth para que pueda configurar su horario de crecimiento, cambiar su modo de iluminación, monitorear su nivel de agua y administrar su calendario, todo desde un teléfono inteligente [44],[45].

Fabricante	Scotts Miracle Gro
Precio	US\$ 239.99
Público	Para personas interesadas en cultivar plantas utilizando soluciones de nutrientes minerales, sin el uso de pesticidas o productos químicos.
Lugares de uso y/o instalación	Colegios, restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de nivel de agua
Dimensiones (pulgadas)	
Ancho	16.3
Largo	34.3
Alto	13.3
Peso (Kg)	16.75
Consumo energético diario (W)	
Energía	75
Bomba	3
Capacidad de agua (galones)	2
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Luces LED
Mecánicos	- Marco de acero - Cestas de plantación - Base de plástico - Bomba de recirculación
Capacidad de plantación	4
Tipo de cultivo	Verduras de hoja verde, hierbas y flores.
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo
Incluye	Aplicación móvil

Tabla 10. Características principales del dispositivo Miracle-Gro Twelve.

2.1.11 Herbert – Grow fresh organic food at home

Herbert se presenta como una opción de ahorro de espacio que también puede ser útil en espacios urbanos. Es un jardín vertical hidropónico de pared alimentado por Leds que puede cultivar ensaladas, verduras, hierbas y mucho más fácilmente en un espacio más pequeño, y también puede controlar el crecimiento de las plantas a través de un teléfono inteligente mediante la aplicación gratuita para Android y iOS. La tecnología LED incorporada y el innovador sistema hidropónico de Herbert permiten cultivar las plantas durante todo el año. Este jardín interior cuenta con un sistema de riego que impulsado por una bomba logra llegar a todas de raíces de las plantas. Tiene tres estantes pequeños que pueden cultivar quince plantas a la vez. Solo necesita poner semillas en las tapas especiales, agregar agua y listo [46], [47].

Fabricante	
Precio	US\$ 637.64
Público	Para personas interesadas en cultivar su propio alimento, sin el uso de pesticidas y herbicidas, y que deseen comer todo fresco y orgánico.
Lugares de uso y/o instalación	Colegios, restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de nivel de agua
Dimensiones del techo de luces (pulgadas)	
Ancho	11.8
Largo	19.7
Alto	7.9
Dimensiones del techo de luces (pulgadas)	
Ancho	4.5
Largo	21.7
Alto	31.5
Peso total (Kg)	12
Consumo energético de 12h diarias (W)	
Luces LED	60
Bomba	5
Ruido (dB)	30 – 40
Capacidad de agua (L)	6
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Lámpara LED (con 28 LEDs)
Mecánicos	- Madera de haya y álamo (panel frontal) - Placa de aluminio (estructura) - Polipropileno (módulos de cultivo) - Bomba
Capacidad de plantación	15
Tipo de cultivo	Verduras de hoja verde, Hierbas (aromáticas) y flores.
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo
Incluye	Aplicación móvil

Tabla 11. Características principales del dispositivo Herbert.

2.1.12 PlantHive Smart Garden

PlantHive cultiva automáticamente sus plantas favoritas durante todo el año, proporcionándoles el clima y las condiciones de iluminación perfectas [48].

Fabricante	PlantHive
-------------------	-----------

Precio	479 €
Público	Para las personas que quieran cultivar sus propios alimentos y llevar una alimentación libre de alimentos que contienen pesticidas, herbicidas y químicos.
Lugares de uso y/o instalación	Colegios, restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares y hospitales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de temperatura del agua - Sensor de humedad - Sensor de pH - Sensor de EC - Sensor de nivel de agua - Sensor para temperatura del agua
Dimensiones del techo de luces (pulgadas)	
Base	39cm x 39cm
Alto	5.2 cm y 77 cm con extensiones de columna
Peso (Kg)	10
Consumo energético de 12h diarias (W)	
Energía	60
Luces LED	115
Ruido (dB)	40
Capacidad de agua (L)	11
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Lámpara LED hortícolas - Módulos de control - Filtros para purificar el aire - Sistema de control (Raspberry Pi) - Sistema De Calefacción / Refrigeración
Mecánicos	- Termómetro - Higrómetro - Termómetro De Agua - Higrómetro De Suelo - Ventiladores - Bomba De Aire - Tanque De Agua - Dispensador De Nutrientes - Filtros De Carbón
Capacidad de plantación	4
Tipo de cultivo	Permite cultivar frutas y verduras pequeñas, flores, plantas medicinales, plantas decorativas y microgreens.
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo
Incluye	Conexión Wi-Fi

Tabla 12. Características principales del dispositivo PlantHive.

2.1.13 Smart Garden: Your smart garden for fresh & local superfoods

Se enfoca en el cultivo de brotes y microvegetales, ya que son ricos en nutrientes y tienen un período de crecimiento corto. Para iniciar a cultivar primero, llene el tanque de agua e inserte la vaina de semillas biodegradables previamente sembrada. Cell One adapta automáticamente los ciclos de iluminación y riego para garantizar que sus brotes y microgreens prosperen. Un sistema inteligente de riego, iluminación LED, sensores y ventilación controla el microclima para un crecimiento y sabor ideales.

La circulación de aire mientras la semilla brota es vital, y si los brotes no pueden respirar mientras crecen, pueden morir. Por lo tanto, es fundamental que las semillas estén a una distancia ideal entre sí. En el Cell Garden Pod las semillas ya están colocadas en la mejor disposición posible. El medio de cultivo está hecho de materiales naturales renovables y es biodegradable.

Después de cosechar, Cell Garden Pod se puede tirar en contenedores de abono, por lo que Cell One es fácil de mantener y limpiar. No se necesita tierra ni sustratos adicionales para la germinación. Todos los nutrientes en la etapa microverde temprana provienen de la propia semilla. Esto asegura que cada vaina esté perfectamente limpia y lista para cortar y comer [49].

Fabricante	Cell Garden
Precio	99 €
Público	Personas interesadas en mejorar su nutrición diaria y estilo de vida gracias al cultivo de sus propios alimentos.
Lugares de uso y/o instalación	Restaurantes, cocinas, oficinas, tiendas, hogares.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de humedad - Sensor de pH - Sensor de EC - Sensor de nivel de agua - Sensor para temperatura del agua
Dimensiones (pulgadas)	
Largo	10.42
Ancho	14.37
Altura	17.68
Consumo energético de 12h diarias (W)	
Energía	3W (110/220V)
Peso (Kg)	6
Capacidad de agua (L)	3

Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Luces LED - Sistema de riego - Sistema de control del clima
Mecánicos	- Tanque de agua - Bandeja para residuos de agua
Capacidad de plantación	6 vainas de semilla al tiempo
Tipo de cultivo	Frutos secos, brotes y microvegetales
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo
Incluye	- Conexión Wi-Fi - Aplicación móvil - Guía de nutrición basada en plantas basada en brotes y microvegetales - Asistente de Nutrición móvil gratuito

Tabla 13. Características principales del dispositivo Smart Garden.

2.1.14 AVA Byte Automated Indoor Garden

AVA Byte es un jardín inteligente interior, simple, sustentable y automatizado. Puede cultivar hierbas, verduras, flores, microverduras, tubérculos y más. Con la aplicación inteligente de AVA puede cambiar el crecimiento de las plantas, controlar los niveles de agua y luz y planificar las comidas. Gracias a su sistema de autorriego automático permite larga vida para las plantas, además la iluminación de plantas está inspirada en la NASA. Ahorra un 90% más de agua [50].

Fabricante	AVA
Precio	US\$ 299-320
Público	Lo pueden usar niños de 5 años en adelante con la supervisión de un adulto. Este
Lugares de uso y/o instalación	Apartamento, hogar, oficina, aula, cabina remota, restaurante, hotel, yate, estaciones espaciales.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de humedad - Sensor de luz ambiental - Sensor de nivel de agua
Dimensiones (pulgadas)	
Largo	7.5
Ancho	4.75
Altura	18
Altura de la luz telescópica	21
Especificaciones técnicas de AVA pods	

Carcasa exterior	1,5 "x 1,5" x 1,75 "
Especificaciones de la aplicación Ava Byte	
Requisitos del dispositivo	iOS 7 o superior (iPhone, iPad); Android 5.1 o superior
Compatibilidad de automatización del hogar	Amazon Alexa, Google Home, Apple Home Kit
Consumo energético	
Energía	12V CC
Bomba de agua	12V
Peso vacío (Kg)	1.8
Capacidad de agua (L)	3.2
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Panel de iluminación LED optimizado para plantas RBG de espectro completo y de bajo consumo energético - Sistema de riego - Sistema de control del clima - Procesador ARM® Cortex® M4 - Seguridad WPA2 - Cámara para Plant Vision y timelapses.
Mecánicos	- Tanque de agua - Cestas para plantación - Contenedor de cestas - Soportes ajustables
Capacidad de plantación	5
Tipo de cultivo	Hierbas, frutas, verduras, flores y microvegetales.
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo
Incluye	- Conexión a Wi-Fi
Impermeable	Si

Tabla 14. Características principales del dispositivo Ava Byte.

2.1.15 LeGrow L - Smart Garden

Es un ecosistema de jardín interior completo. El jardín en sí es una configuración modular en la que cada maceta individual actúa como un bloque de construcción. Esto le permite apilar, expandir y construir su jardín en creaciones ilimitadas. A través de la flexibilidad y los complementos de Smart Gardens, cultivar plantas en interiores es más fácil. LeGrow ha diseñado un sistema simple que permite cultivar las plantas de una manera en que se puedan disfrutar de todos los beneficios [51], [52], [53].

Fabricante	LeGrow
Precio	US\$ 44.95
Público	Personas que desean iniciar el mundo de la jardinería.

Lugares de uso y/o instalación	Apartamentos, hogares, oficinas, aulas, restaurantes y hoteles.
Características de Hardware	
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de temperatura - Sensor de humedad - Sensor de luz ambiental - Sensor de nivel de agua
Dimensiones (cm)	
Maceta de cultivo base	8.5 x 8.5
Bandeja de esquina	17 x 17 x 2
Bandeja base (mm) Cada bandeja puede contener 3 macetas	55 * 85 * 20
Lampara LED (2 bombillos)	
Generan	50000 lux
Capacidad de agua de la maseta de cultivo base	30 ml
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Lampara de iluminación LED - Sistema de riego - Humificador
Mecánicos	- Cestas para plantación - Conectores de silicona
Capacidad de plantación	3
Tipo de cultivo	Hierbas y flores.
Tamaño del cultivo	Dependiendo del tipo de cultivo

Tabla 15. Características principales del dispositivo LeGrow L.

2.1.16 Grow Box 2 Pallet Farm

Grow Box es un dispositivo modular el cual es expandible de manera vertical que te permite cultivar todo tipo de plantas en grandes espacios, sin necesidad de luz solar. Este dispositivo posee un sistema automático de control de luz diurna y nocturna que ayuda a ahorrar energía, además puede programar para que coincidan con la hora del amanecer y el atardecer. También cuenta con un ventilador de circulación para mantener frescas las plantas y un regulador de temperatura [54].

Fabricante	OPCOM
Precio	US\$ 6980
Público	Para personas interesadas en cultivar plantas utilizando soluciones de nutrientes minerales, en agua, sin tierra.
Lugares de uso y/o instalación	Restaurantes
Características de Hardware	

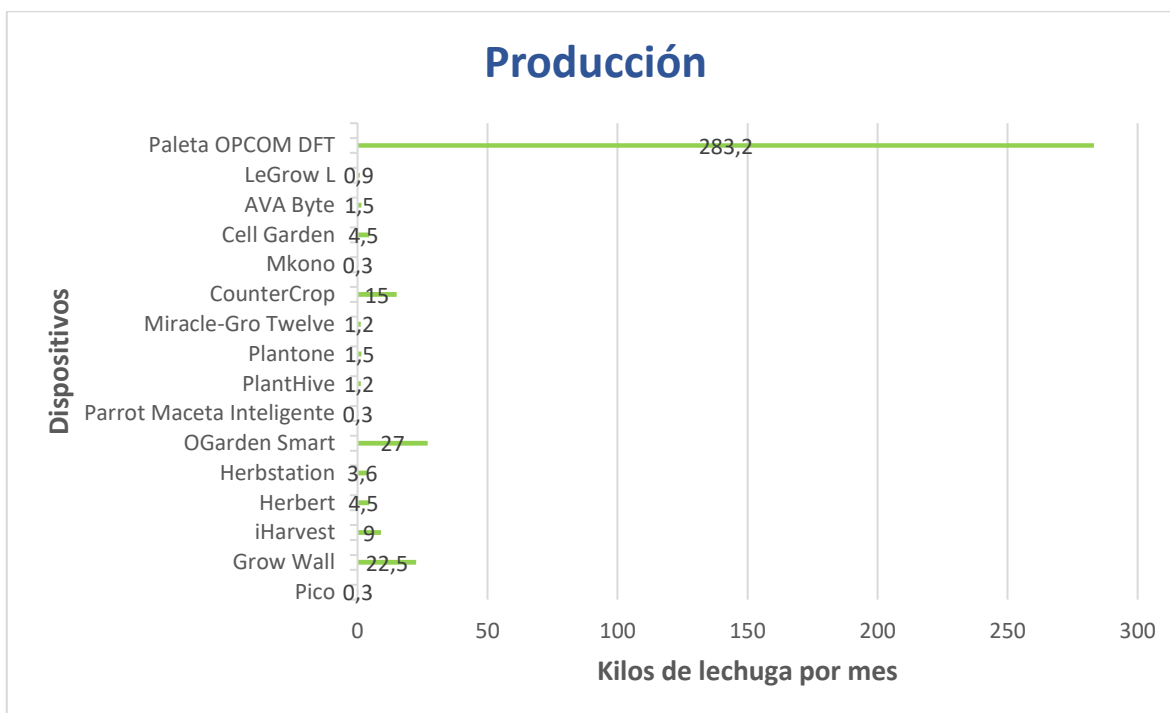
Fuente de energía	Energía eléctrica
Tipo de sensores	- Sensor de pH - Sensor de temperatura - Sensor de CE
Dimensiones (cm)	
Ancho	115
Largo	155
Alto	200
Peso (Kg)	13.6
Consumo energético diario (KWh)	
AUTO	23.2
ON	35.2
HI	25.6
LOW	14.4
Range	14.4~35.2
Energía	DC 36V/44A
Temperatura	18°C – 28°C (64.4°F – 82.4°F)
Bomba de aire	35W x1
Ventilador	48W x8
Capacidad de agua (L)	80
Dispositivos de hardware necesarios para la elaboración	
Electrónicos:	- Controlador del sistema - Tubos LED - Ajustador de pH - Medidor de CE
Mecánicos	- Cestas de plantación - Tubos - Esponjas de cultivo - Bomba de aire - Tubería de agua
Capacidad de plantación	944
Tipo de cultivo	Frutas, verduras de hojas verdes y hierbas
Tamaño del cultivo	2.5"

Tabla 16. Características principales del dispositivo Grow Box 2 Pallet Farm.

2.2 Análisis de los aspectos más importantes entre los productos comerciales

Para elaborar un análisis comparativo, se debe estimar los parámetros principales, como producción, consumo de energía, eficiencia, rendimiento entre otros, con un mismo cultivo de referencia, de tal manera que la comparación permita detectar cuáles tienen ventajas o desventajas en cuanto a cada uno de los parámetros de referencia y así poder determinar factores clave que potencien las características ideales de un nuevo diseño en el presente mercado comercial de este tipo de productos.

2.2.1 Producción



Grafica 1. Muestra los kilos de producción para cada dispositivo.

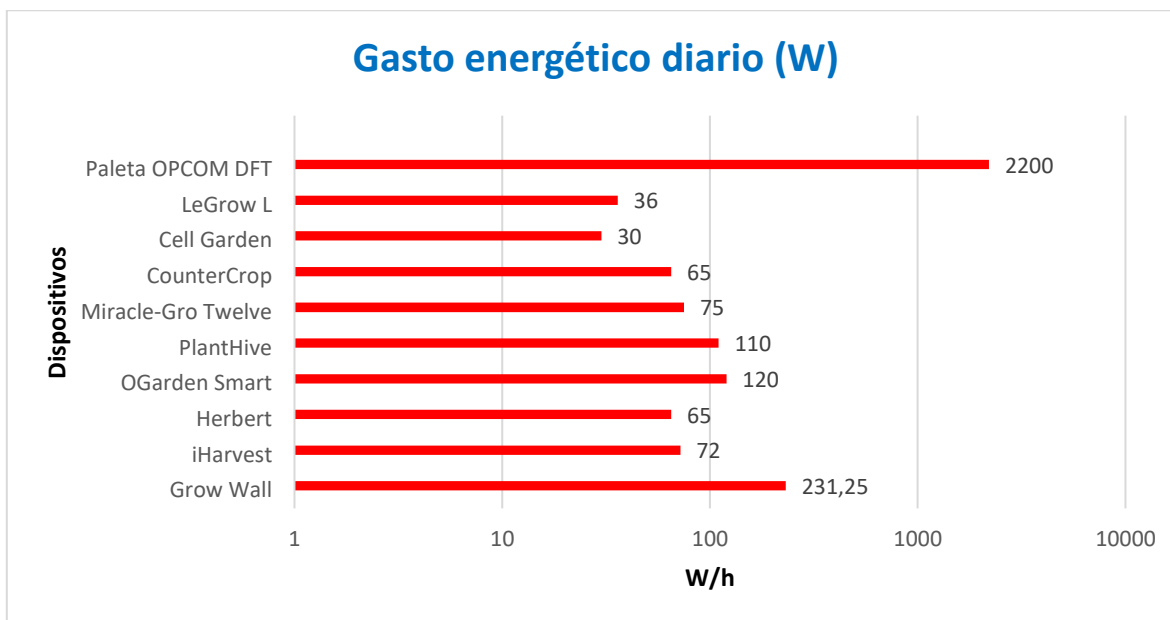
2.2.1.1 Dispositivo con mayor producción

Según se observa en la gráfica 1 el dispositivo que produce mayor volumen de lechuga al mes es la Paleta OPCOM DFT. Este dispositivo puede llegar a producir 283.2 kilos al mes, esto debido a que posee un panel con luces de alta potencia con espectro de color completo que permiten un crecimiento eficiente. Además este dispositivo posee una alta capacidad de plantación, ya que este puede albergar 944 plantas.

2.2.1.2 Dispositivo con menor producción

Según la gráfica 1 los dispositivos que producen el menor volumen de lechuga al mes son, PICO, Parrot maceta inteligente y Mkono, estos tres con 0.3 kilos mensuales. La baja producción de estas macetas se debe a la poca capacidad de plantación, ya que todas ellas solo tienen capacidad para una sola planta.

2.2.2 Gasto energético



Gráfica 2. Gráfico de barras sobre el gasto energético de los dispositivos.

2.2.2.1 Dispositivo con mayor gasto energético diario

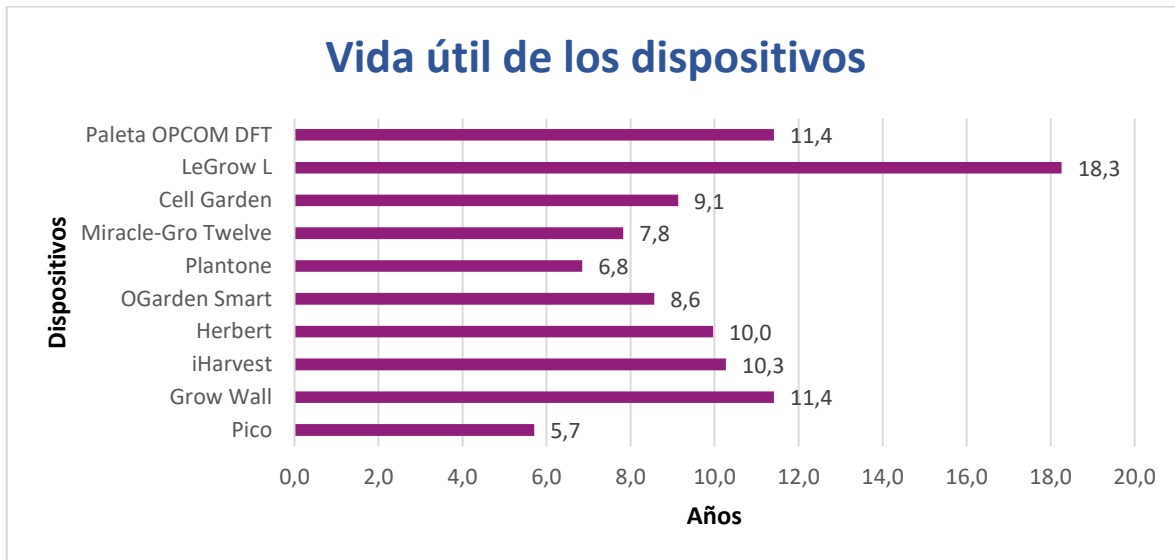
El dispositivo que consume mayor cantidad de energía mensual es la Paleta OPCOM DFT, esto según se observa en la gráfica 2. Ya que este sistema de cultivo tiene una gran capacidad de plantación necesita los elementos necesarios para mantener de una manera óptima el cultivo, entre estos se encuentra una bomba de aire que tiene un consumo de 35W, 8 ventiladores de circulación que consumen 48W cada uno y un panel de luces LED de 86.4W. Este sistema de luces es el encargado de ayudar al crecimiento de las plantas ya que reemplazan la luz solar y ayudan a la realizar la fotosíntesis.

2.2.2.2 Dispositivo con menor gasto energético diario

El dispositivo que consume menor cantidad de energía mensual es Cell Garden, esto debido a que este dispositivo solo se enfoca en brotes y microvegetales, ya que son ricos en nutrientes y tienen un período de crecimiento corto. Por eso el gasto de energía se reduce considerablemente.

2.2.3 Vida útil del dispositivo

Se debe tener en cuenta que el tiempo de vida útil de todos los dispositivos varía dependiendo al cuidado que se tenga con cada uno de ellos y el tiempo que estos permanezcan con las luces encendidas. El rango de tiempo de vida útil de los dispositivos analizados oscila entre 5 y 11 años.



Gráfica 3. Gráfico de barras sobre la vida útil de los dispositivos.

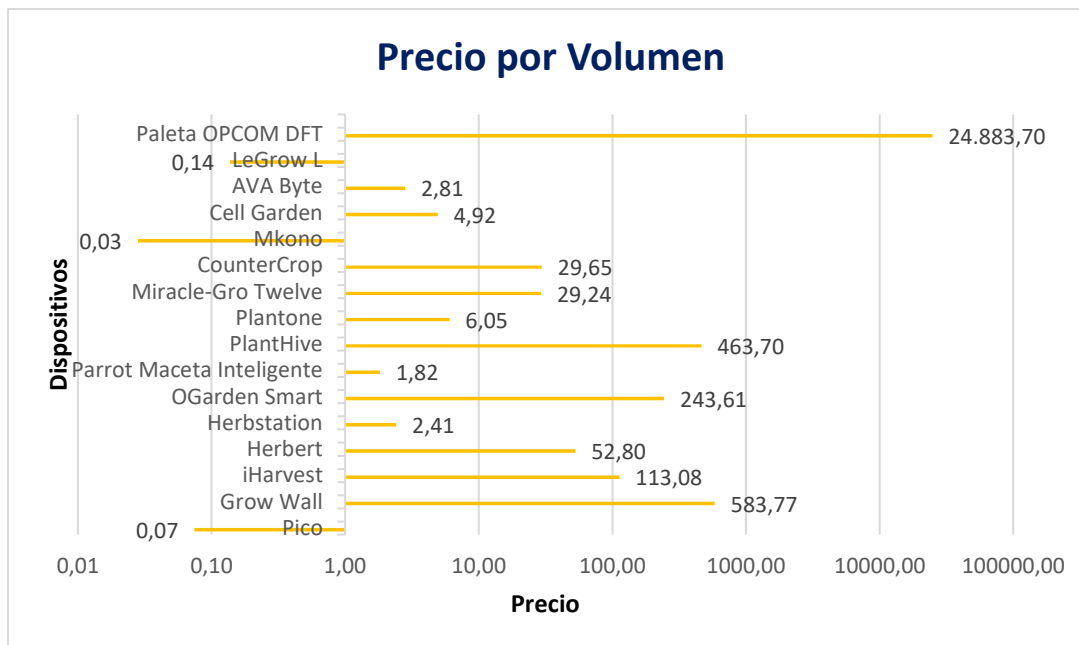
2.2.3.1 Dispositivo con mayor tiempo de vida útil

Para este caso la gráfica 3 indica que existen dos dispositivos con mayor tiempo de vida útil, la Paleta OPCOM DFT y Grow Wall, ambos de la marca OPCOM Farm. Este cálculo se realizó teniendo en cuenta la calidad de las luces que usan estos dispositivos y el tiempo en que están permanecen encendidas. La tecnología de iluminación de OPCOM Farm están diseñadas para simular la luz solar, proporcionando luces de crecimiento de espectro completo para un crecimiento eficiente de las plantas. Este tipo de luces tienen aproximadamente 50.000 horas de uso en toda su vida.

2.2.3.2 Dispositivo con menor tiempo de vida útil

Pico utiliza 4 LED hortícolas de OSRAM de 3 longitudes de onda variables, esto proporciona total autonomía del sol, pero para ello Pico necesita estar enchufado todo el tiempo para que funcionen las luces de cultivo y así poder obtener la energía necesaria para que la "luz solar" de Pico funcione todo el día. Este condicional hace que el tiempo de vida de las luces de este dispositivo sea menor con respecto a los otros dispositivos estudiados.

2.2.4 Precio por volumen



Gráfica 4. Gráfico de barras sobre el precio por volumen de los dispositivos.

2.2.4.1 Dispositivo con mayor precio por volumen

El dispositivo con mayor precio por volumen es la Paleta OPCOM DFT, como se muestra en la gráfica 4. Son sus componentes lo que hacen de este jardín inteligente uno de los más costosos ya que cuenta con un panel de luces de alta potencia para un crecimiento eficiente, alta capacidad de plantación y un sistema automático de control de luz el cual se puede configurar para que coincida con la hora del amanecer el atardecer que permite un considerable ahorro de energía. Entre otras de sus características que se suman a este precio se encuentran el control con Inteligencia artificial y gestión de datos, además de ello su característica de expandible hace que tenga una extensión ilimitada.

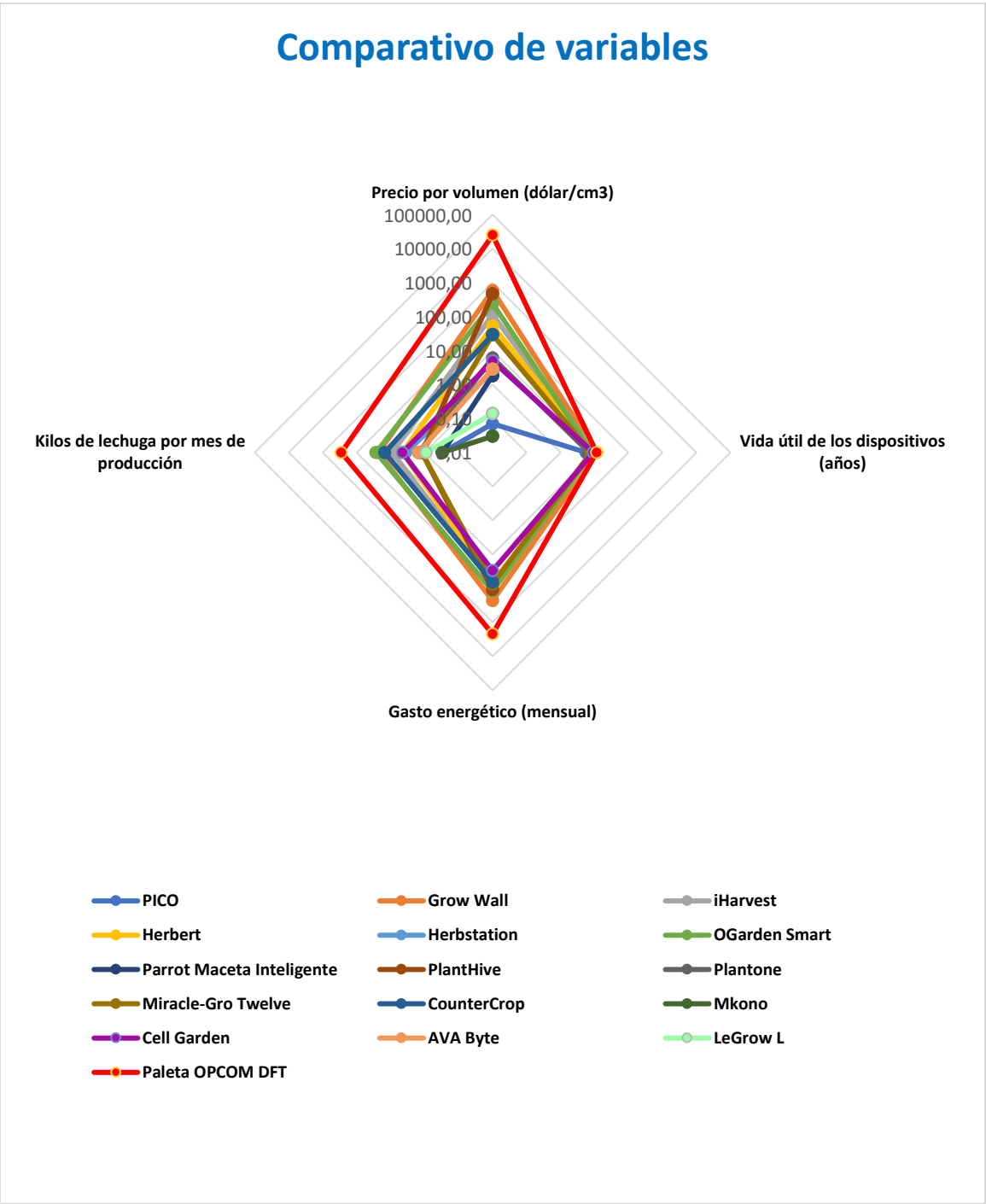
2.2.4.2 Dispositivo con menor precio por volumen

De la gráfica 4 se puede concluir Mkono es la maceta con menor precio por volumen, esto se debe a que no requiere de energía eléctrica para funcionar y su sistema de riego se realiza a través de una cuerda de algodón así las plantas pueden absorber la humedad y los nutrientes necesarios. Este sistema permite una circulación óptima del aire y permite mantener las raíces saludables.

2.3 Análisis comparativo

Para realizar el perfil del diseño del nuevo dispositivo se evaluaron las características funcionales y de diseño de los dispositivos comerciales que sirvieron de referencia para el trabajo. A partir de ello se tomaron las cuatro características que se consideraron las más importantes y fueron organizadas en un diagrama radial en Excel. Este diagrama ayudará a tener una visión más clara con respecto a que variables se deberán tener en cuenta para la creación del diseño del nuevo dispositivo.

Comparativo de variables



Gráfica 5. Gráfico radial comparativo de los dispositivos.

La gráfica 5 permite observar las características a las que debemos apuntar para la creación del nuevo dispositivo. Como alta producción mensual del producto deseado, pero con menor gasto energético. Y mayor tiempo de vida útil con menor precio por volumen. Con

respecto a la vida útil de los dispositivos se puede observar que todos ellos se encuentran en un rango de años similares. Esto ayuda a intuir que el tipo de material y las luces LED que se usaron para la creación de los dispositivos de estudio no influyen en la duración del dispositivo. Entonces se puede concluir que, para el nuevo dispositivo, el rombo que se debería pintar en la gráfica 5 debe estar achatado para los ítems precio por volumen y gasto energético, y ensanchado para kilos de lechuga por mes de producción y vida útil del dispositivo. Así se lograría tener un dispositivo con alta productividad y vida útil además de bajo en consumo energético y precio por volumen.

Se realizó también el análisis de rentabilidad de los dispositivos en el que se halló cual es la eficiencia para cada uno de ellos y los resultados dieron que los dispositivos con mayor porcentaje de eficiencia son la Paleta OPCOM DFT y LeGrow L con el 7,11 y 5,38 respectivamente. Esta eficiencia es el resultado de analizar ítems como el costo del dispositivo, vida útil de los dispositivos, consumo energético, kilos mensuales de producción, porcentaje de perdida y costo por energía, agua.

Nombre	Costo mensual del dispositivo (US\$)	Ganancia mensual por kilos de lechuga (US\$)	Ganancia real mensual (US\$)	Eficiencia en porcentaje
LeGrow L	0,21	1,31	1,11	5,38
Paleta OPCOM DFT	50,94	412,91	361,96	7,11

Tabla 17. Tabla de dispositivos más eficientes.

A continuación, se indicarán algunas características que hacen de estos dispositivos los más eficientes con respecto a otros dispositivos que también fueron analizados.

2.3.1 Paleta OPCOM DFT

Esta paleta es una solución para plantas hidropónicas con una capacidad de plantación de 944 plántulas. Proporciona un ajuste de altura de la placa de luz LED, para que se pueda ajustar libremente de acuerdo con el período de crecimiento del cultivo. También cuenta con un sistema que permite configurar las horas de iluminación diurna y nocturna automáticamente, lo que puede ahorrar efectivamente el gasto energético, y también se puede configurar de acuerdo con el tiempo de fijación de precios de la electricidad doméstica para ahorrar gastos de electricidad.

Su característica de expandible permite tener una extensión ilimitada de creaciones, además de permitir la fácil vinculación y sincronización con la paleta inicial. El fácil control de este producto permite controlar el modo de la luz de siembra a partir de un control remoto inalámbrico o se puede realizar a través de WIFI incorporado, que puede usar la función de

control remoto de la aplicación del teléfono móvil. La circulación del aire está a cargo de un ventilador que intercambia el oxígeno liberado por las plantas con el dióxido de carbono en el aire y esparce aire fresco por todos los rincones [54].

2.3.2 LeGrow L

Es un ecosistema de jardín interior completo. El jardín en sí es una configuración modular en la que cada maceta individual actúa como un bloque de construcción. Esto le permite apilar, expandir y construir su jardín en creaciones ilimitadas. El ecosistema incluye macetas avanzadas, lámparas de cultivo LED, humidificadores y un Power Pot único con 4 puertos de carga USB, es este conjunto de componentes los que hacen de LeGrow un producto eficiente [51], [52], [53].

Hay muchos tipos de tecnologías hidropónicas, sin embargo, todas operan con algunas cosas en común. Los sistemas hidropónicos generalmente cuentan con bombas para hacer circular el agua, luces para proporcionar a las plantas los fotones que necesitan para crecer, nutrientes para dar a las plantas los elementos correctos, un recipiente para retener el agua y un medio de cultivo para asegurar las semillas plantadas. Cada uno de estos elementos se puede diseñar de manera que se adapte al cultivo de un tipo específico de planta. Las plantas además requieren algunas cosas básicas para crecer. La luz, el agua y los nutrientes son los componentes principales del cultivo de plantas; sin embargo, hay algunos otros factores que influyen, especialmente cuando se cultivan plantas en interiores. Estos factores incluyen la temperatura del aire, la humedad y la circulación. Es importante comprender cada uno de estos componentes, ya que los cambios significativos en cualquier elemento pueden afectar directamente la capacidad de una planta para prosperar.

Por ello según el análisis realizado se puede concluir que el nuevo modelo de jardín hidropónico interior debe incluir las siguientes características:

1. Disposición horizontal

La disposición que deberá tener el dispositivo debe ser horizontal. Esta disposición ayudaría a eliminar el uso de una bomba de agua para ayudar con la circulación del agua. Al no hacer uso de una bomba de agua, se disminuiría el gasto energético del dispositivo.

2. Depósito de agua

El agua es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El agua transporta los nutrientes absorbidos a través de las raíces de las plantas por toda la planta y luego se utiliza durante la fotosíntesis y se libera como oxígeno al aire. Por ello el nuevo dispositivo deberá contar con un depósito el cual almacenará el agua necesaria para un regado por un tiempo determinado. Como resultado, se obtendría un dispositivo que utilizará el agua de una manera más eficientemente que los métodos agrícolas normales. También se tendrá en cuenta la seguridad del depósito para evitar que el agua se evapore y dejar que esta dure por muchos más días.

3. Iluminación

La luz es uno de los elementos esenciales para el cultivo de plantas ya que les proporciona los requisitos necesarios para realizar la fotosíntesis. Existen numerosos aspectos de la luz que indican cómo reaccionará la planta. Esto incluye la intensidad de la luz, el espectro y la duración de la irradiación.

El dispositivo puede usar luz solar, pero estaría regulado por cuánto tiempo sale el sol y dependería de las estaciones. Esta es una de las razones por las que ciertas plantas solo se cultivan durante una temporada específica, esto se debe a que requieren una cantidad específica de luz natural. Por el contrario, si se usara algún tipo de luz artificial, las plantas recibirían luz por mayor tiempo y esto lograría un crecimiento más rápido y se tendrían productos en menor tiempo. Sería importante conocer los requisitos de luz para una planta específica para así proveerlas de la cantidad de luz necesaria.

4. Minerales

Como no hay tierra, las plantas tienen menos posibilidades de contraer enfermedades o infecciones producidas por la tierra. La hidroponía cicla la cantidad justa de agua y nutrientes para que las plantas mantengan un crecimiento óptimo por ello es necesario nutrir el agua la cual va a circular por el dispositivo.

5. Modularidad

Esta característica lo que busca es que el usuario pueda hacer crecer su jardín inteligente.

6. Torre de luces adaptable

Debido a que las plantas crecen a medida que pasa el tiempo, es importante que las luces puedan adaptarse a este crecimiento. Por lo tanto, el nuevo dispositivo debería incluir esta funcionalidad para poder iluminar en un mayor radio a todas las plantas.

2.4 Requerimientos Funcionales

Para determinar las características ideales del producto prototipo que será desarrollado, se identifican los requisitos funcionales del PMV, mediante un análisis de inspección y de comportamiento, tanto del mejor como del peor rendimiento de los productos de la competencia, es decir, si se logra identificar la razón por la cual un requerimiento funcional se maximiza del análisis comparativo que se hizo en la sección anterior, se busca que dicha característica esté presente en el desarrollo actual. A continuación, se enumeran y explican cada una de las funcionalidades identificadas:

2.4.1 Requisito funcional 01

Gasto energético: El dispositivo deberá utilizar un bajo nivel de energía, por ello el gasto energético debe oscilar entre 30W y 60W.

2.4.2 Requisito funcional 02

Luz: EL dispositivo deberá contar con luces de alta duración ya que estas suplen la luz solar, la cual es necesaria para la realización de la fotosíntesis del cultivo.

2.4.3 Requisito funcional 03

Recipiente de agua: El jardín inteligente deberá contener un recipiente de agua para almacenar que el cultivo requiere para permitir su supervivencia.

2.4.4 Requisito funcional 04

Dispensador de nutrientes: El dispositivo deberá permitir la fácil aplicación de los nutrientes.

2.4.5 Requisito funcional 05

Comunicación de red: El dispositivo y el lugar donde que se instalará el cultivo inteligente deberá contar con conexión a internet.

2.4.6 Requisito funcional 06

Volumen: El dispositivo debe tener poco volumen para poder adecuarse a las características de los agricultores y otros espacios como hogares, cocinas, restaurantes, entre otros.

2.4.7 Requisito funcional 07

Precio: El rango de precio debe oscilar entre los 50000 COP y 350000COP

2.4.8 Requisito funcional 08

Volumen de producción: El rendimiento del dispositivo debe tener más o menos una producción de 12 lechugas listas para el consumo mensuales.

2.5 Requisitos no funcionales

2.5.1 Fácil de sembrar

El dispositivo permitirá al usuario una experiencia sencilla a la hora de realizar el proceso de sembrado.

2.5.2 Agradable visualmente

El dispositivo se usará dentro de la casa por lo debe tener un carácter ornamental.

2.5.3 Fácil de instalar

El montaje del dispositivo debe ser sencillo ya que no todos los usuarios son expertos en agricultura.

2.5.4 Fácil de transportar

El dispositivo debe presentar fácil almacenamiento y transporte para su posible comercialización.

2.5.5 Diversas presentaciones

El usuario podrá personalizar algunos elementos del dispositivo tales como la iluminación.

2.5.6 Modularidad

El dispositivo se podrá apilar, integrar o colocar fácilmente entre varios.

Como resultado de la investigación estadística presentada, es posible concluir que al analizar la producción mensual, gasto energético, la vida útil y el precio por volumen de

cada dispositivo se observó que la Paleta OPCOM DFT siempre sobre sale en todos los aspectos mencionados con el mayor número. Sin embargo, es importante resaltar que para las variables como gasto energético y precio por volumen se busca el menor valor posible.

Por otra parte, se observa que el producto comercial OGarden cuanta con unos indicadores promedio como son un tiempo de vida de aproximadamente 9 años, una producción de 27 Kilos de lechuga mensuales, un consumo energético un poco mayor al promedio y un precio por volumen considerable para su tamaño. No obstante, este dispositivo no cuenta con conexión a Wi-Fi, bluetooth o aplicativo móvil.

Es conveniente tener en cuenta las características de alta producción y mayor tiempo de vida de la Paleta OPCOM DFT, también las características de menor consumo energético del dispositivo Cell Garden y el menor precio por volumen presentado por Mkono, ya que esto ayudaría a reducir costos de una manera realmente considerable.

Para aumentar la eficiencia del nuevo producto sería adecuado contar con algunas características como:

- Una aplicación móvil que le recuerde el tiempo necesario entre cada riego.
- Regulación de luces de acuerdo con el medio ambiente, esto ayudaría a reducir el gasto energético.
- Buena capacidad de autonomía de riego.

CAPÍTULO 3

Ideas de diseño

La hidroponía es una técnica relativamente antigua que muchas personas vienen implementando para poder obtener sus propios alimentos en casa y libres de químicos con ayuda de materiales reciclables. En este capítulo se mostrarán algunas alternativas de cómo realizar un cultivo hidropónico en casa que se ajuste a las necesidades de las personas teniendo en cuenta la disposición, el diseño y el costo.

Primero se encontrarán los diseños y el procedimiento para desarrollar cada una de las ideas además de una tabla comparativa con ventajas y desventajas para cada una de estas ideas para tener en cuenta cuales son viables. En esta sección también se encontrará el presupuesto necesario para realizar cada una de estas ideas, este presupuesto incluye el costo de la implementación para la estructura, los costos de los dispositivos electrónicos que se usarán para la medición de las variables de importancia. A demás de esto se presentará el presupuesto una alternativa para realizar la medición de forma manual de las variables. En la parte final aparecen unos diseños que tienen la parte esquemática del armazón del dispositivo con sus respectivas dimensiones, las características electrónicas y su rango de precio.

Idea 1: Hidroponía de bricolaje: Cómo construir un sistema de hidroponía con botellas de plástico para jardín con balcón (2020) [55].

Los sistemas hidropónicos de bricolaje se pueden realizar de diferentes formas. Se puede construir uno utilizando diferentes materiales disponibles localmente, como botellas de plástico, contenedores, cajas e incluso tuberías de PVC reciclables. Con esta idea se aprenderá a realizar un sistema de hidroponía en casa usando botellas de plástico. Para este sistema de hidroponía con bricolaje, se necesitarán los siguientes materiales que estarán disponibles principalmente en casa:

MATERIALES

1. 7 botellas vacías de 2 litros
2. Esponja o cualquier medio de siembra
3. Vasos de plástico para usar como vasos de red (usar y tirar vasos)
4. Marcador
5. Agua
6. Solución hidropónica
7. Semillas de su elección
8. Pegamento caliente

PROCEDIMIENTO

1. Primero se realizará la estructura del sistema, la cual estará compuesta por 7 botellas de plástico. Antes de ello se deberán tomar 6 tapas de las botellas para después realizar un agujero en cada una de ellas, esto permitirá que el agua pueda circular por todo el sistema.



Figura 1. Muestra la ubicación que tendrán las botellas para la creación del dispositivo.

2. Marcar y cortar 3 agujeros en cada botella del tamaño de los vasos. Entre cada agujero dejar cierto espacio para acomodar los vasos que tendrán la función de las cestas de plantación, además cada una de las plantas debe tener suficiente espacio para crecer. (Este paso se debe realizar en las 7 botellas).
3. En la botella que irá en el centro marcar los 6 agujeros conectores usando como guía la tapa de las botellas. Se deben cortar 3 agujeros en ambos lados de la botella para que las otras 6 puedan encajar perfectamente y el agua no pueda escapar del sistema.
4. Para empezar a conectar las botellas se debe introducir la boca de cada una de estas en los agujeros que fueron marcados siguiendo la guía de las tapas. Después aplicar pegamento caliente y apretar con la tapa de la botella desde adentro para que no haya fugas de agua en el sistema.
5. Aplicar pegamento entre cada una de las botellas para así pegarlas y tener un sistema más resistente.
6. Para hacer las cestas de plantación del sistema hidropónico se utilizarán los vasos de plástico y con ayuda de un cautín se harán los agujeros necesarios para que las raíces puedan realizar su crecimiento. Este paso se debe realizar en 21 vasos de plástico, así como se muestra en la Fig.2.



Figura 2. Indica como se deben realizar los cortes para realizar una cesta de plantación.

7. Ahora para realizar las esponjas de plantación, se debe cortar la esponja en pequeñas piezas con el propósito de que quepan dentro de los vasos de plásticos. Luego se deberá cortar la esponja dándole la forma del vaso para que pueda entrar fácilmente.
8. Cortar la parte inferior de la esponja para que las raíces puedan desarrollarse fácilmente. También se deberá realizar un corte pequeño en la parte superior para hacer un agujero donde irán las semillas.
9. Siembre la semilla en las esponjas y póngalas en cada una de las cestas de plantación y quedaran listas para ser ubicadas en el sistema hidropónico, así como se muestra en la Fig.3. La esponja se puede sumergir en agua para humedecerla un poco.



Figura 3. Muestra las cestas de plantación listas para ubicarlas en el sistema hidropónico.

10. Llenar el sistema hidropónico con agua y mantenerlo bajo la sombra hasta que las semillas se germinen. Finalmente, se deben colocar todas las cestas de plantación.



Figura 3. Muestra las cestas de plantación listas para ubicarlas en el sistema hidropónico.

PRESUPUESTO

En las tablas 18 y 19 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 1. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La Tabla 20 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por la estructura

Idea 1			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
7	Botellas de 1,75L	2,900	20,300
3	Esponja x4	1,500	4,500
1	Paquete de vasos de plástico x25	1,300	1,300
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
1	Pegamento	8,000	8,000
TOTAL	Infraestructura		37,500

Tabla 18. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 19. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 20. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 21 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 1, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la estructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 1			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
7	Botellas de 1,75L	2,900	20,300
3	Esponja x4	1,500	4,500
1	Paquete de vasos de plástico x25	1,300	1,300
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
1	Pegamento	8,000	8,000
TOTAL	Estructura		37,500
TOTAL	Estructura + End device		112,113
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		52,970

Tabla 21. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

Idea 2: Como cultivar lechuga hidropónica método Kratky|| hidroponía sin electricidad || México Verde [56].

MATERIALES

1. Balde
2. Pintura o bolsas negras
3. Broca para hacer orificios
4. Cestas de plantación
5. Semillas

PROCEDIMIENTO

1. La estructura de este sistema estará compuesta por un balde con tapa, el balde deberá ser de color negro para que no pase luz y sobre ello se le debe poner una capa de pintura blanca. Si la luz llegara a penetrar en el balde generaría la formación de algas y moho, lo cual afectaría el sistema porque empezarían a absorber los nutrientes y oxígeno que las plantas necesitan. Para lograr el color negro del balde se puede pintar de color negro o forrarlo con bolsas negras.



Figura 4. Se muestran las dos opciones para tener un recipiente de color oscuro.

2. En la tapa se deben realizar el número de orificios necesarios para poder colocar las canastillas o cestas de plantación.
3. Luego se debe llenar el balde con agua, este debe estar completamente lleno para luego taparlo y colocar las canastillas y debemos observar que el agua cubre la mitad de estas.
4. Finalmente, realizamos el trasplante de las plantas.



Figura 5. Se muestra el nivel de agua del balde y la ubicación de las cestas de plantación.

PRESUPUESTO

En las tablas 22 y 23 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 2. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La Tabla 24 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por infraestructura

Idea 2			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Balde plástico para pintura	16,900	16,900
1	Bolsas negras x10	2,050	2,050
3	Cestas de plantación	2,000	6,000
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
TOTAL	Infraestructura		28,350

Tabla 22. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 23. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 24. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 25 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 2, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la infraestructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 2			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Balde plástico para pintura	16,900	16,900
1	Bolsas negras x10	2,050	2,050
3	Cestas de plantación	2,000	6,000
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
TOTAL	Estructura		28,350
TOTAL	Estructura + End device		102,963
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		43,820

Tabla 25. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

Idea 3: Método Kratky HIDROPONÍA FÁCIL y casera /Tutorial de sistema kratky con maceta hecha a mano [57].

MATERIALES

1. Botella de plástico
2. Pintura
3. Bisturí
4. Semillas

5. Sustratos (arlita y perlita)

PROCEDIMIENTO

1. Pintar la botella de color blanco y dejar secar, esto si la botella que se tiene es transparente. Después se deberá cortar al finalizar el cuello de la botella, así como se muestra en la Fig.6.



Figura 6. Muestra el nivel al que se debe cortar la botella.

2. La parte de arriba se debe poner boca abajo sobre la base de la botella que se ha cortado y debe quedar más o menos como se muestra en la Fig.7.



Figura 7. Muestra la estructura del dispositivo.

3. Para hacer la cesta de plantación se debe tomar la parte de la botella que contiene la tapa y con el cautín se deben realizar los orificios y ranuras necesarios para el desarrollo de las raíces. Tal y como se muestra en la Fig.8.



Figura 8. Muestra la estructura del dispositivo.

4. Colocar las semillas en la cesta de plantación junto con algunos sustratos y el agua en la otra parte de la botella. Finalmente, colocar la parte de la botella que contiene las semillas dentro de la parte que contiene el agua.



Figura 9. Muestra la estructura del dispositivo final.

PRESUPUESTO

En las tablas 26 y 27 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 3. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La tabla 28 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por infraestructura

Idea 3			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella de plástico	2,900	2,900
1	Pintura	3,000	3,000
1	Bisturí	2,400	2,400
1	Paquetes de semillas	3,400	3,400
1	Sustratos	22,300	22,300
TOTAL	Infraestructura		34,000

Tabla 26. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 27. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)

1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 28. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 29 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 3, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la infraestructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 3			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella de plástico	2,900	2,900
1	Pintura	3,000	3,000
1	Bisturí	2,400	2,400
1	Paquetes de semillas	3,400	3,400
TOTAL	Estructura		34,000
TOTAL	Estructura + End device		108,613
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		49,470

Tabla 29. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

Idea 4: Como hacer Sistema de cultivo HIDROPÓNICO CASERO paso a paso / Ideal para PRINCIPIANTES semillero [58].

MATERIALES

1. Botella de plástico
2. Vasos de plástico
3. Bisturí o soldador
4. Semillas
5. Esponja

PROCEDIMIENTO

1. Marcar y cortar los orificios donde irán los vasos de plásticos los cuales tendrán la función de macetas o cestas de plantación.



Figura 10. Muestra la distribución que tendrán las cestas de plantación.

2. Para hacer las cestas de plantación se utilizarán los vasos de plásticos y con el soldador realizar los agujeros y ranuras para que las raíces puedan desarrollarse.

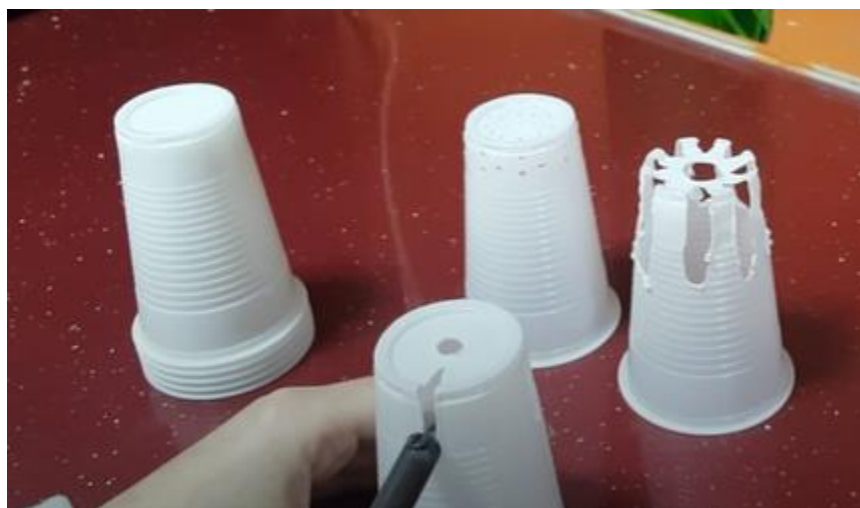


Figura 11. Se muestran los cortes para realizar las cestas de plantación.

3. Colocar las semillas dentro de pequeños trozos de esponja, perlita, servilleta o fibra de coco y luego colocarlas dentro de los vasos. Después llenar la botella con agua y colocar los vasos en los orificios ya cortados.



Figura 12. Estructura final del sistema.

PRESUPUESTO

En las tablas 30 y 31 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 4. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La tabla 32 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por infraestructura

Idea 4			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella grande de plástico	12,000	12,000
8	Vasos de plástico	0,520	4,160
2	Esponja x4	1,500	3,000
1	Bisturí	2,400	2,400
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
TOTAL	Infraestructura		24,960

Tabla 30. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 31. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 32. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 33 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 4, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la infraestructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 4			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella grande de plástico	12,000	12,000
8	Vasos de plástico	0,520	4,160

2	Esponja x4	1,500	3,000
1	Bisturí	2,400	2,400
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
TOTAL	Estructura		24,960
TOTAL	Estructura + End device		99,573
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		40,430

Tabla 33. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

Idea 5: Lechuga hidropónica infinita [59]

MATERIALES

1. Botella de plástico
2. Vaso de yogurt vacío
3. Un lapicero vacío
4. Marcador
5. Pinzas de ropa
6. Semillas
7. Liga
8. Globo

PROCEDIMIENTO

1. Marcar y cortar el agujero donde irá el recipiente de yogurt, el cual funcionará como cesta de plantación. Para evitar que la botella gire, se debe colocar una pinza de ropa a cada lado y se pegaran con cinta adhesiva.



Figura 13. Estructura del sistema.

2. Después de fijar la botella con las pinzas para que no gire, con la ayuda de un soldador realizar una perforación del tamaño del lapicero. Luego con un poco de pegamento caliente podremos fijar el tubo para que quede aproximadamente 1 cm separado de la base.



Figura 14. Muestra la fijación del tubo que funcionará como sistema de ventilación del sistema.

3. Para preparar el recipiente donde se realizará el cultivo de la lechuga es necesario realizar unas perforaciones de la mitad inferior hacia la base. Estas perforaciones servirán para que las raíces puedan salir al medio acuoso y así absorber los nutrientes del agua.



Figura 15. Perforaciones realizadas para realizar la cesta de plantación.

4. Poner un poco de arcilla expandida en la base para poner la semilla o realizar el trasplante. Luego de llenar la botella con agua hasta la mitad, colocar una manta negra que cubra toda la botella para evitar que la luz toque al agua y se formen algas.



Figura 16. Modelo final.

5. Para oxigenar el sistema se utilizará un globo, tal y como se muestra en la Fig.17.



Figura 17. Sistema de oxigenación del producto.

PRESUPUESTO

En las tablas 34 y 35 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 5. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La tabla 36 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por infraestructura

Idea 5			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella de plástico	2,900	2,900
1	Vaso de yogurt	2,130	2,130
1	Lapicero	1,500	1,500
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
2	Pinzas de ropa	0,600	1,200
1	Globo	0,500	0,500
1	Arcilla expandida	8,500	8,500
TOTAL	Infraestructura		20,130

Tabla 34. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 35. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 36. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 37 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 5, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la infraestructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 5			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Botella de plástico	2,900	2,900
1	Vaso de yogurt	2,130	2,130
1	Lapicero	1,500	1,500
1	Paquete de semillas	3,400	3,400
2	Pinzas de ropa	0,600	1,200
1	Globo	0,500	0,500
TOTAL	Estructura		11,630
TOTAL	Estructura + End device		94,743
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		27,100

Tabla 37. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

Idea 6:

MATERIALES

1. 2 tubos PVC de 4 pulgadas
2. 4 tapas para tubos de 4 pulgadas

3. Cestas de plantación
4. Amarres transparentes
5. Madera
6. Broca para hacer agujeros
7. Marcador
8. Semillas

PROCEDIMIENTO

1. Primero se debe armar la base de soporte del dispositivo y para ello es necesario cortar la madera con las medidas necesarias, las cuales son, cuatro barras de 20cm de largo y dos barras de 15 cm largo.
2. Para ensamblar todas estas barras se utilizarán unos tornillos.
3. Para realizar los depósitos de agua se harán 6 perforaciones en cada tubo, dejando 2 cm entre cada uno de ellos. Y después de ello se deben colocar los tapones a cada lado de los tubos y colocarlos en la base anteriormente construida.
4. Finalmente llenar el tubo con agua y colocar las cestas de plantación cada una con las semillas correspondientes.

PRESUPUESTO

En las tablas 38 y 39 se mostrará detalladamente el nombre y precio de cada uno de los materiales y dispositivos necesarios para llevar a cabo el desarrollo la idea 6. El presupuesto presentado incluye la parte de la estructura e instrumentación (IoT).

La tabla 40 muestra el presupuesto necesario de una opción más económica para realizar el sensado de algunas variables en dispositivo, pero de forma manual.

Costo total por infraestructura

Idea 6			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tubos PVC de 4"	14,900	14,900
4	Tapones para tubos PVC de 4"	1,900	7,600
2	Madera 2x2x1m	4,031	8,062
1	Amarre transparente x100	12,500	12,500
TOTAL	Infraestructura		43,062

Tabla 38. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 39. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Costo total por electrónica barata y manual			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Módulo sensor digital de temperatura y humedad, con pantalla LCD y sonda	15,470	15,470
TOTAL			15,470

Tabla 40. Costo total del dispositivo necesario para hacer el sensado de forma manual.

En la tabla 41 se muestra el costo total para realizar la estructura de la idea 6, la estructura del dispositivo con el sistema de IoT para el control de las variables de interés del cultivo y finalmente se encuentra el costo total de la infraestructura más el dispositivo que ayuda con la medición de variables de forma manual.

Idea 6			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total
1	Tubos PVC de 4"	14,900	14,900
4	Tapones para tubos PVC de 4"	1,900	7,600

2	Madera 2x2x1m	4,031	8,062
1	Amarre transparente x100	12,500	12,500
TOTAL	Estructura		43,062
TOTAL	Estructura + End device		117,675
TOTAL	Estructura + Electrónica Manual		58,532

Tabla 41. Costo total de la estructura, costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT y el costo total de la estructura más el dispositivo para el sensado de forma manual.

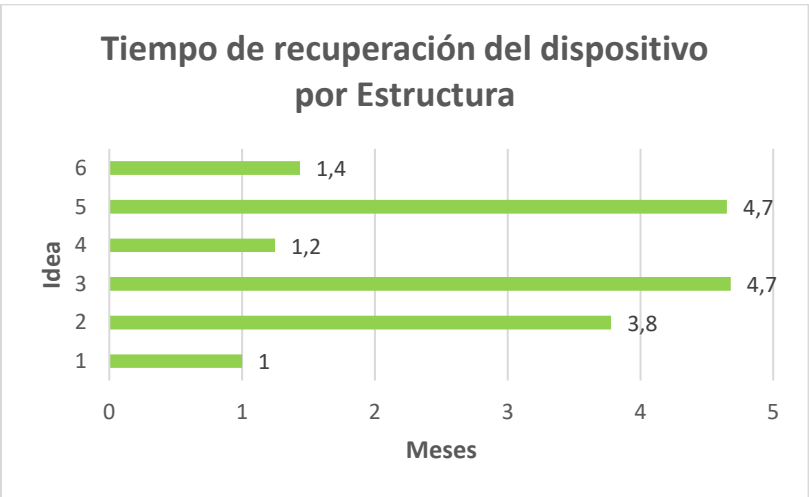
Después de conocer una serie de alternativas que se pueden realizar con materiales que se pueden encontrar en casa, en la tabla 42 se muestra la evaluación de la ventajas y desventajas que cada una de estas ideas posee.

Idea	Ventajas	Desventajas
1	- Fácil de ensamblar. - Mayor capacidad de plantación - Sus materiales son reciclables	- No tiene capacidad de expansión. - El uso de esponja es contaminante, ya que esta luego se desecha. - No permite que haya flujo de agua. - Dificultad para realizar el riego. - Poca durabilidad de los materiales.
2	- Fácil de realizar - Bajo costo - Ocupa poco espacio	- El flujo de agua se realiza de manera manual. - Poca capacidad de plantación. - Dificultad para realizar el riego. - No tiene capacidad de expansión. - Tiempo medio de vida de los materiales.
3	- Práctico - Ocupa poco espacio - Tiene materiales reciclables - No utiliza muchos materiales	- Poca capacidad de plantación - La infraestructura no permite implementar más macetas. - Poca durabilidad de los materiales.
4	- Fácil de realizar - Usa materiales reciclables - Ocupa poco espacio	- Dificultad para el riego. - Poca producción - No permite la escalabilidad. - Poca durabilidad de los materiales.
5	- Fácil de realizar - Usa materiales reciclables - Ocupa poco espacio	- Poca capacidad de plantación. - Poca durabilidad de los materiales.
6	- Ocupa poco espacio - Mayor capacidad de plantación - Bajo costo - Mayor tiempo de vida útil del sistema. - Alta durabilidad de los materiales. - Posee capacidad de expansión.	- El flujo de agua se realiza de manera manual.

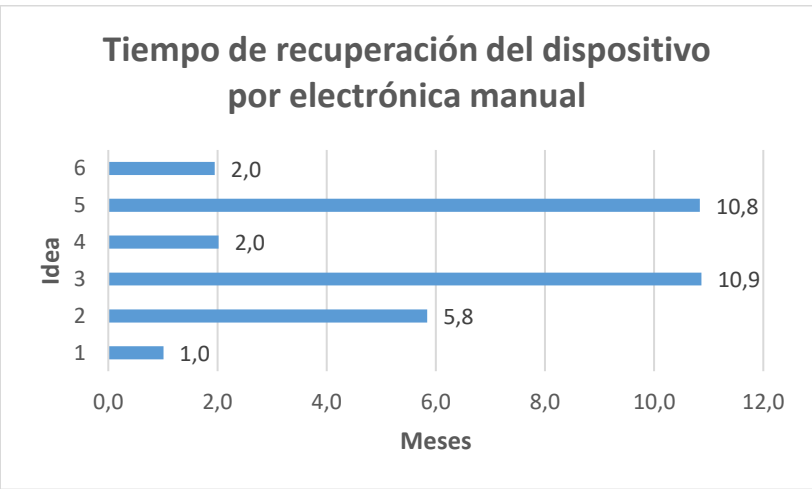
	- Amigable con el medio ambiente. - Fácil de realizar	
--	--	--

Tabla 42. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de las ideas presentadas.

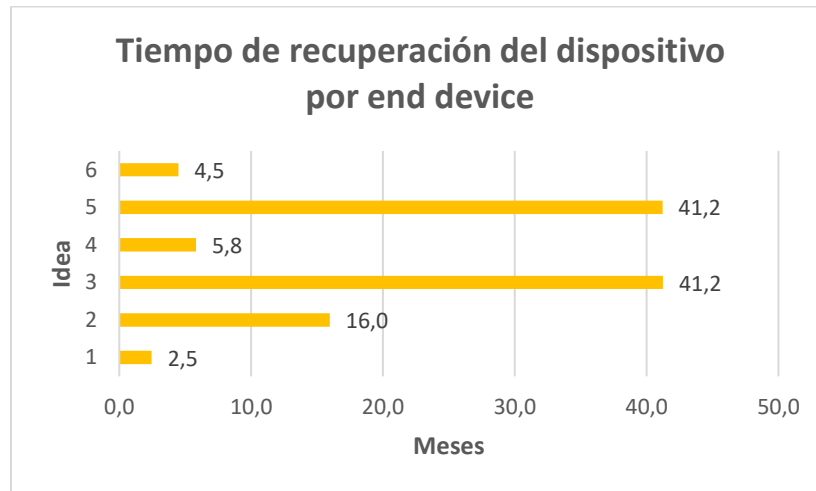
A continuación, se muestran 3 gráficos de barras. Cada uno de ellos indica cual es el tiempo de recuperación para cada una de las ideas anteriormente propuestas. Este tiempo de recuperación es indicado en meses y muestra que dispositivos permiten al usuario recuperar en el menor periodo posible el dinero invertido en la implementación de cada uno de ellos.



Grafica 6. Tiempo de recuperación en meses del dispositivo por costo de estructura.



Grafica 7. Tiempo de recuperación en meses del dispositivo por costo de estructura más dispositivo de medición manual



Grafica 8. Tiempo de recuperación en meses del dispositivo por costo de estructura más dispositivos de IoT.

3.1 Análisis de los elementos de diseño de las diferentes propuestas

Los desarrollos que han sido presentados en este capítulo presentan una variedad de ventajas y desventajas que han sido organizadas en la tabla 42. Esta evaluación previa a través de costos generales, tablas y gráficas permiten tener un panorama más organizado sobre el presupuesto, tiempo de recuperación, tiempo de vida útil y otros factores importantes para la toma de decisiones sobre cada una de las seis ideas presentadas.

El tiempo de recuperación en cada una de las ideas fue evaluado teniendo en cuenta los siguientes aspectos, se desea realizar solo la estructura del sistema hidropónico, se desea implementar tecnología IoT en la estructura del sistema o si se desea realizar la medición de las variables de interés en el sistema de forma manual.

Según esta clasificación se puede observar que en la gráfica 6 existen tres ideas que presentan el menor tiempo de recuperación de la inversión en cuanto a costo por la estructura las cuales con las ideas 1, 4 y 6 con un tiempo de recuperación de 1, 1.2 y 1.4 meses respectivamente. Mientras que las ideas 3 y 5 tienen el mayor tiempo de recuperación ambas con 4.7 meses.

El tiempo promedio para la recuperación por electrónica manual es de 5.4 meses, siendo un mes el menor tiempo de recuperación para este caso. Las ideas 4 y 2 necesitan 2 meses para recuperar la inversión y los dispositivos 3 y 4 necesitan un poco más de 10.5 meses. Para el caso de recuperación por end device la idea 2 necesita 4.5 meses para hacer la total recuperación, mientras que, la idea 1 solo 2.5 meses. Se puede concluir entonces que en cuanto a recuperación de la inversión la idea 1 resulta ser la más viable, esto se debe a que esta idea posee mayor capacidad de plantación por ende tiene una producción mayor de lechugas mensuales.

La gráfica 9 muestra el tiempo de vida útil de las seis ideas presentadas. Este tiempo de vida fue hallado teniendo en cuenta el tiempo de vida útil de los dispositivos que serán necesarios para realizar las mediciones y los materiales que conforman la estructura del sistema en contacto con el agua. El tiempo de vida promedio para todas estas ideas es de 2.66 meses siendo el dispositivo 6 el que cuenta con el mayor tiempo de vida ya que la durabilidad de sus materiales así lo permite. Según [60] estos tubos de PVC se fabrican en equipos de transformación termoplástica de última generación, lo que da como resultado una tubería rígida muy utilizada para instalaciones interiores de agua fría. Sus paredes lisas impiden la sedimentación en su interior y proporcionan ventajas como:

- Alta resistencia mecánica.
- Resistencia a la corrosión.
- Inadmisibilidad de incrustaciones.
- Baja conductividad térmica.
- Fácil manipulación e instalación.
- Seguridad total en las uniones.

Por estas razones de durabilidad entre sus materiales y dispositivos la opción 6 resulta ser la más viable para realizarse.



Gráfica 9. Tiempo de vida útil en años de las 6 ideas propuestas.

Todas estas ideas presentadas se pueden replicar fácilmente y permiten hacerlo de manera masiva ya que para su realización cinco de ellas se usan materiales reciclables y permiten reducir la contaminación de plástico. En cuanto a la parte estética de la estructura de las cinco primeras ideas no se encuentra un dispositivo que pueda usarse como objeto decorativo ya que los materiales que se usan no aportan esta característica.

Otra característica importante para evaluar es la portabilidad del dispositivo y aun que la idea 1 sea más rentable no posee esta característica, mientras que la idea 6 tiene portabilidad, mayor tiempo de vida útil del dispositivo, es más liviano y/o fácil de transportar. Ahora, teniendo en cuenta la seguridad de los alimentos, realizar dispositivos para cultivos

hidropónicos con botellas no es tan beneficioso para la salud ya que según [61] no es que el plástico en sí caduque. Los plásticos actuales (por suerte o por desgracia) son increíblemente duraderos. Pero lo que sí es cierto es que estos son capaces de liberar sustancias en el líquido que contienen. Cuanto más tiempo pasa, y con ayuda del calor, más son las sustancias liberadas en el agua. Se puede notar entonces que el dispositivo que resulta ser más rentable, duradero y robusto es el realizado con la idea número 6.

3.2 Evaluación financiera de las alternativas de la idea seleccionada

Para la elección del diseño final del dispositivo se decidió realizar la evaluación financiera de los diseños propuestos. A continuación, se muestran los resultados de dicha evaluación.

Propuesta de diseño #1 – Dona

Este diseño consta de dos pisos, ambos compuestos por donas las cuales tienen una capacidad de 4 plántulas por piso que darían un total de 8 lechugas por mes. En seguida, se realizará el análisis de los materiales y sus respectivos costos para tener un análisis de rentabilidad en la construcción.

Costo total por la infraestructura

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
8	Codo 90 4 CxE	8,100	64,800
1	Tubo PVC de 4" x 1m	14,900	14,900
Total			79,700

Tabla 43. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044

1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 44. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
8	Codo 90 4 CxE	8,100	64,800
1	Tubo PVC de 4" x 1m	14,900	14,900
TOTAL	Estructura		79,700
TOTAL	Estructura + end device		154,313

Tabla 45. Costo total de la estructura, y costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT.

Para ver la viabilidad de diseño se realizará el análisis de recuperación de la inversión el cual dirá en cuanto tiempo es que recupera la inversión que se realizó para la elaboración del dispositivo. Este análisis consiste en hallar la ganancia mensual que produce el dispositivo y dividir el costo total de estructura más end device por el resultado anterior.

Entonces se tiene que el dispositivo produce 8 lechugas listas para el consumo y cada lechuga cuesta 2.500 pesos, esto da un total de 20.000 pesos mensuales por las 8 lechugas producidas. Ahora dividimos los 154.313 pesos del costo total entre los 20.000 pesos mensuales y obtenemos un total de 8.55, este resultado es el número de meses en el cual se obtendrá la recuperación total de la inversión. Después de realizar el análisis de rentabilidad se puede ver que esta opción es demasiado costosa además se debe tener en cuenta que para 6 meses se debe tener el retorno a la inversión y esta idea de diseño no cumple con ese tiempo, por ello se descarta.

Propuesta de diseño #2.0 – Horizontal con tubos

Debemos ver las dimensiones que habrá entre cada cesta teniendo en cuenta también el diámetro de cada una de ellas. Cada tubo medirá 40 cm de largo lo que da un total de 3 cestas de plantación en cada tubo, cada una tiene un radio de 5.8 cm y entre cada cesta habrá un espacio de unos 5cm. Para la estructura se necesitarán 110 cm de madera para lograr la estructura que se muestra en la Figura 18.

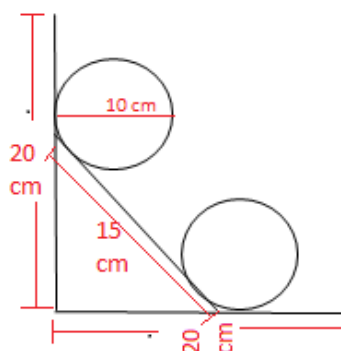


Figura 18. Estructura de soporte del sistema.

Costo total por infraestructura

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tubos PVC de 4"	14,900	14,900
4	Tapones para tubos PVC de 4"	1,900	7,600
2	Madera 2x2x1m	4,031	8,062
1	Amarre transparente x100	12,500	12,500
TOTAL	Infraestructura		43,062

Tabla 46. Costo total por la estructura del dispositivo.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 47. Costo total de los dispositivos electrónicos que se le incluirán al dispositivo.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tubos PVC de 4"	14,900	14,900
4	Tapones para tubos PVC de 4"	1,900	7,600
2	Madera 2x2x1m	4,031	8,062
1	Amarre transparente x100	12,500	12,500
TOTAL	Estructura		43,062
TOTAL	Estructura + End device		134,454

Tabla 48. Costo total de la estructura y el costo total de la estructura incluyendo los dispositivos de IoT.

El precio total del dispositivo teniendo en cuenta la construcción de la infraestructura e incluyendo la electrónica vale 134.454 pesos colombianos. Entonces, después de realizar el análisis de rentabilidad debemos tener en cuenta que para 6 meses se debe tener el retorno a la inversión del dispositivo por ello se realiza el siguiente análisis.

En el dispositivo se cultivarán 6 plántulas de lechuga, eso quiere decir que al mes se tendrán 6 lechugas listas para el consumo. Cada lechuga vale 2.500 pesos colombianos lo que da un total de 15.000 pesos colombianos al mes. Con ello podemos decir que la inversión del dispositivo se estaría recuperando en aproximadamente 8.96 meses, lo cual no parece rentable para el ejercicio por ello se reformulará el diseño del dispositivo para tener en cuenta el número de plántulas que deberá contener cada tubo.

Propuesta de diseño #2.1 – Horizontal con tubos

Teniendo en cuenta que se realizará la reformulación del diseño del dispositivo se deberá tener en cuenta las dimensiones que existirán entre cada cesta teniendo en cuenta también el diámetro de cada una de ellas. Cada tubo medirá 50 cm de largo lo que da un total de 6 cestas de plantación en cada tubo, cada una tiene un radio de 5.8 cm y entre cada cesta habrá un espacio de unos 2cm. Se conservará la estructura de la propuesta de diseño 2.0 y se necesitarán 110 cm de madera para lograr la estructura que se muestra en figura 18.

Entonces se cultivarán 6 plántulas de lechuga en cada tubo, eso quiere decir que en 2 tubos se tendría una cosecha de 12 lechugas. Cada lechuga lista para el consumo vale 2.500 pesos colombianos lo que da un total de 30.000 pesos colombianos al mes. Con ello podemos decir que la inversión del dispositivo se estaría recuperando en aproximadamente 5 meses. Con esto se tendría un modelo rentable.

3.4 Infraestructura física

Para poder realizar la infraestructura del proyecto se realizó previamente la representación gráfica de todos los elementos que hacen parte del dispositivo. Estos planos sirven para ver la estructura del dispositivo en su conjunto y, al mismo tiempo, de forma fragmentada, cada uno de ellos cuenta con sus respectivas medidas para tener toda la información necesaria sobre los materiales a nuestro alcance. El desarrollo de estos planos se realizó con el programa Fusion 360 que es un software de CAD, CAM y CAE basado en la nube para el diseño y la manufactura de productos [62].

A continuación, se muestran los planos para generales y de cada una de las partes del armazón del dispositivo.

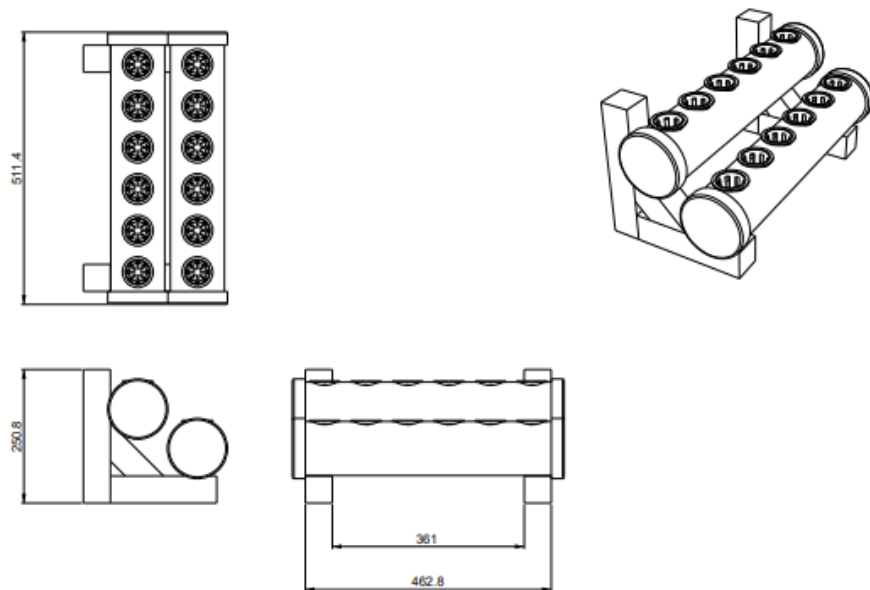


Figura 19. Plano de general del dispositivo.

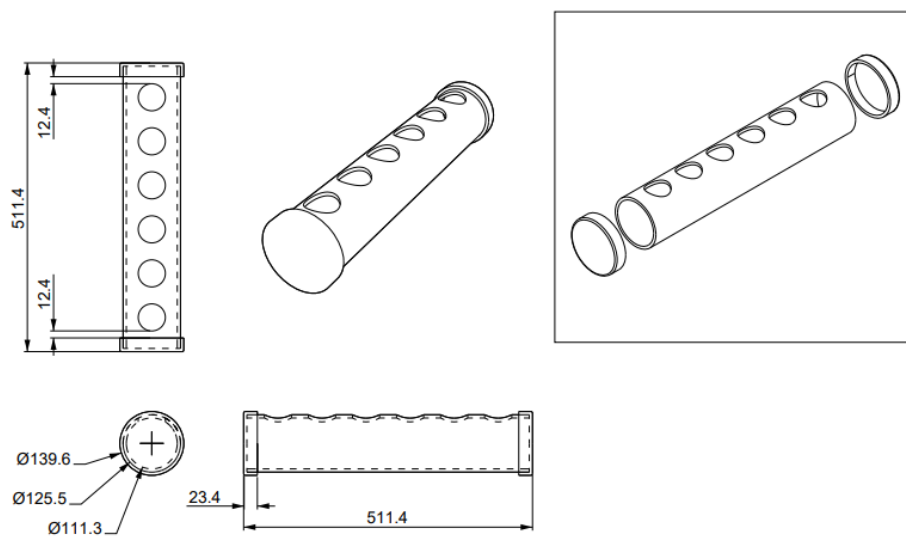


Figura 20. Plano de los tubos y tapones ensamblados que componen el dispositivo.

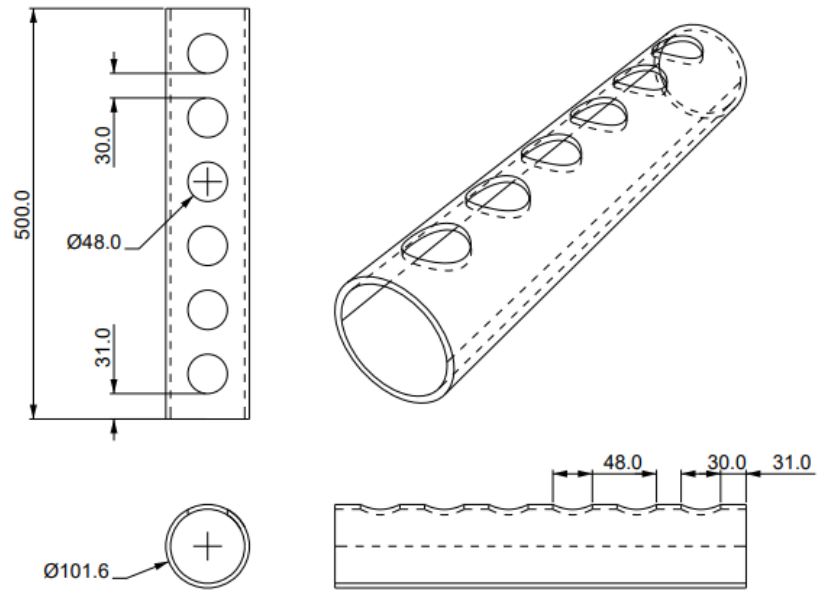


Figura 21. Plano de los tubos componen el dispositivo.

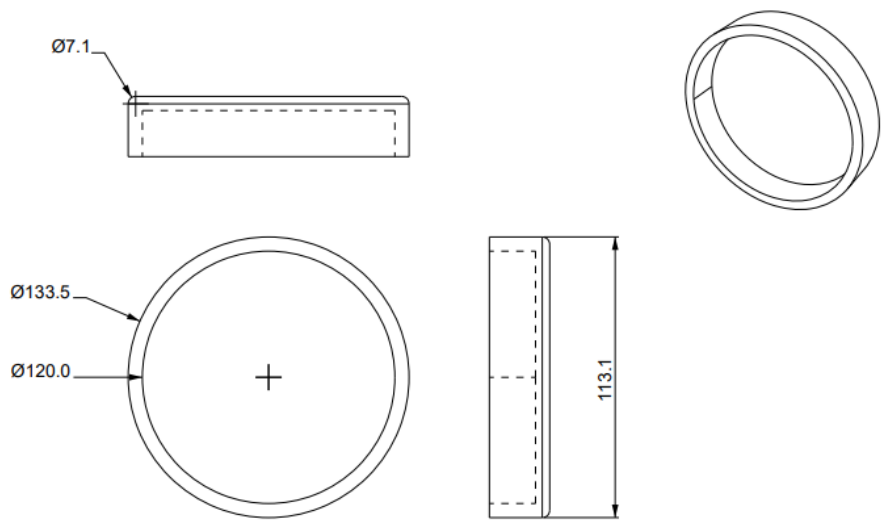


Figura 22. Plano de los tapones que componen el dispositivo.

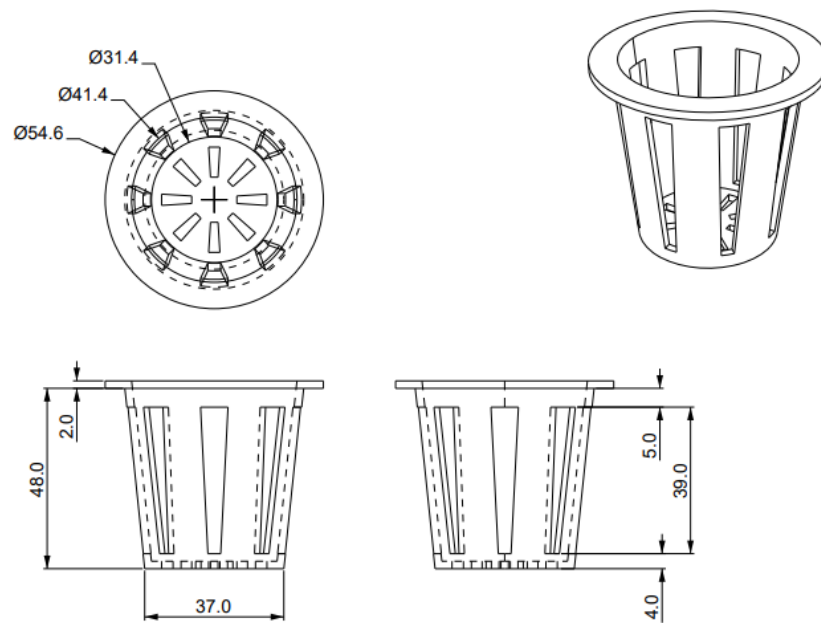


Figura 23. Plano de la cesta de plantación que componen el dispositivo.

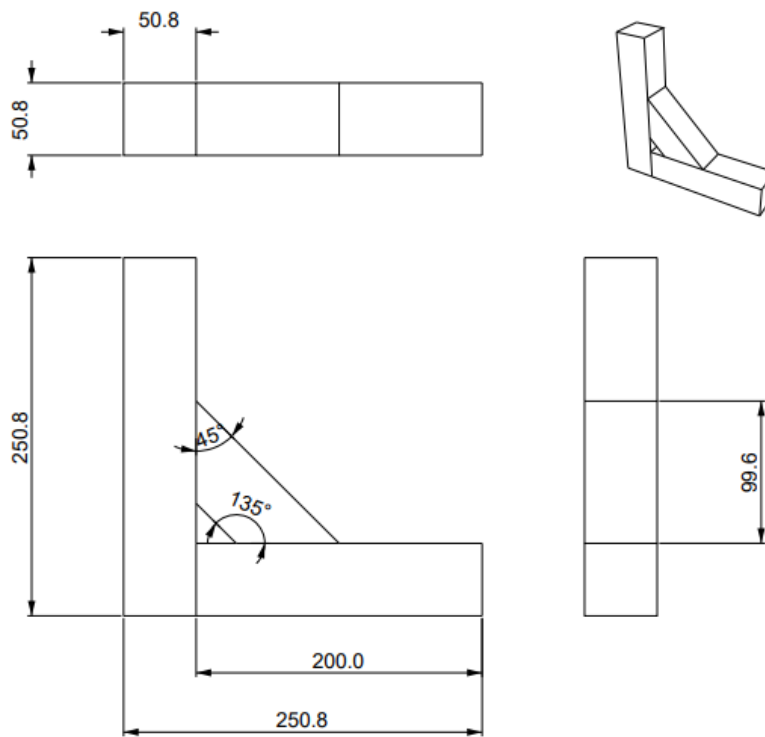


Figura 24. Plano de los maderas que forman el soporte para todo el dispositivo.

3.5 Infraestructura Electrónica

En esta sección se presentará el listado de los sensores y microcontroladores más alimentadores y cables necesarios para la realización del proyecto, cada uno de ellos con su respectiva foto, referencia y costo.

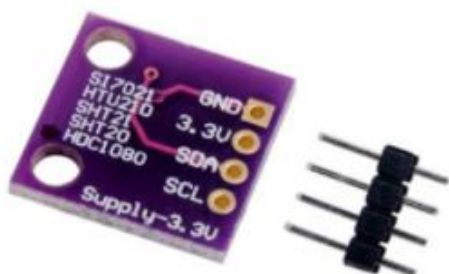


Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266

Ref: NODEMCUV3

Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266.

Figura 25. Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266.
Fuente: Didácticas Electrónicas.

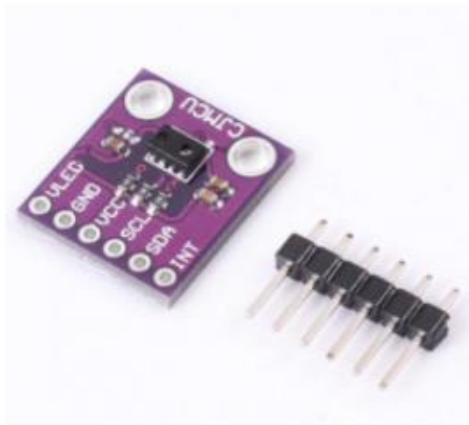


Sensor de temperatura y humedad HDC1008

Ref: HDC1008

Sensor de temperatura y humedad HDC1008.

Figura 26. Sensor de temperatura y humedad HDC1008.
Fuente: Didácticas Electrónicas.



Sensor de luz y proximidad

Ref: CJMCU-3216

Tarjeta sensor que integra un sensor de luz ambiente (ALS), un sensor de proximidad (PS) y un LED IR.

Figura 27. Sensor de luz y proximidad - CJMCU-3216.
Fuente: Didácticas Electrónicas.



Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm

Ref: CA-USB-B-30CM

Cable USB tipo B para Arduino de 30cm, compatible con tarjetas Arduino UNO y Mega.

Figura 28. Cable USB tipo B para Arduino.
Fuente: Didácticas Electrónicas.



Adaptador Raspberry Pi 4 - 5V 3A

Ref: ADP-RASP4-3A

Adaptador AC/DC, con conector USB C.

Figura 29. Adaptador de voltaje 4 – 5V 3A.
Fuente: Didácticas Electrónicas.

Costo total por end device			
Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Precio Total (COP)
1	Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266	18,207	18,207
1	Sensor de temperatura y humedad HDC1008	17,850	17,850
1	Sensor de luz y proximidad CJMCU-3216	9,044	9,044
1	Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm	2,142	2,142
1	Adaptador de voltaje	27,370	27,370
TOTAL			74,613

Tabla 49. Listado de sensores y microcontroladores con su costo total.

3.6 Infraestructura Blanda (Software)

Para el desarrollo del proyecto se tuvo como guía la teoría de Internet de Las Cosas del autor Francis Da Costa, empleando un sistema de end device, collector y gateway integrados en un solo dispositivo (en este caso el microcontrolador NodeMCU junto con sus sensores y alimentación de energía). Se emplea un distribuidor, sistema de almacenamiento de base de datos, sistema de ETL (extracción transformación y carga) y un sistema de toma de decisiones con una visualización al usuario mediante página web. Para este fin se empleó la nube de Amazon Web Services; desarrollando los servicios mediante máquinas virtuales y desarrollos en un framework por Python 3.8.

CAPÍTULO 4

Requerimientos principales del dispositivo

Este sistema de agricultura urbana es perfecto para cultivar frutas y verduras tanto en interiores y exteriores; cuenta con un tamaño adecuado para hacer de este sistema un magnifico adorno ornamental. Este dispositivo puede cultivar 12 frutas y verduras a la vez, para que el usuario pueda disfrutar de una gran cantidad de alimentos súper frescos. El riego del dispositivo se podrá realizar cada vez que la aplicación lo indique. A demás el monitoreo de las variables de interés permite que el dispositivo ofrezca al usuario un crecimiento óptimo de su cultivo durante todo el año.

El dispositivo cuenta con un volumen de 20 000,00 cm³ y una capacidad para producir una cantidad necesaria de productos para el pronto retorno de la inversión. No es difícil de instalar y para poder empezar a cultivar se necesita plantar una semilla, asegurarse de que haya suficiente agua en los recipientes y puede cosechar sus productos de 30 a 40 días después. Esta es una forma de comer productos agrícolas propios, de manera sostenible, segura, fácil y con un bonito diseño.

A continuación, se mostrarán las historias de usuario que se deben seguir desde la adquisición del dispositivo hasta la cosecha del cultivo.

HISTORIAS DE USUARIO					
Número	Acción	Razón	Acción a realizar	Importancia	Tipo de acción
1	Armar el dispositivo	El usuario podrá ensamblar el dispositivo para iniciar a cosechar.	Ensamblar el dispositivo	ALTA	Ensamblaje
2	Colocar agua en los tubos	El usuario podrá colocar agua en los tubos y estos funcionaran como contenedores de agua para las plantas.	Llenado de los contenedores de agua	ALTA	Proveer de agua al dispositivo
3	Colocar la semilla en la cesta	El usuario podrá colocar las semillas en las cestas debidamente preparadas	Colocar la semilla en cesta para después poder	ALTA	Preparación de semillas

		para empezar con la cosecha.	colocarla en el dispositivo		
4	Colocar la cesta en el dispositivo	El usuario podrá colocar las cestas cultivo en cada uno de los agujeros de los tubos para iniciar con el cultivo de lechugas.	Colocar las cestas en el dispositivo para iniciar con la germinación de la semilla	ALTA	Sembrado
5	Conectar a energía el dispositivo y prenderlo	El usuario podrá conectar a energía el dispositivo para luego poder prenderlo y empezar con el monitoreo de variables.	Conectar a la fuente de energía el dispositivo	ALTA	Conectar y prender el dispositivo
6	Descargar la aplicación	El usuario podrá descargar la aplicación móvil para poder visualizar la información detallada de su cultivo.	Instalación de la aplicación en el dispositivo móvil del usuario	ALTA	Descargar e instalar la aplicación
7	Emparejar el sistema	El usuario podrá vincular su dispositivo a la aplicación	Sincronización del dispositivo	ALTA	Vinculación del dispositivo

Tabla 50. Historias de usuario que se deben seguir desde la adquisición del dispositivo hasta la cosecha del cultivo.

4.1 Elementos para el desarrollo

El concepto más poderoso de la arquitectura emergente de Internet de las cosas es la división de la red en tres clases funcionales, lo que permite la implementación de la funcionalidad de red (y el costo y la complejidad) solo donde y cuando sea necesario. Estas tres clases son:

- End device

- Collector
- Funciones integradoras que ofrecen análisis, control e interfaces humanas al IoT [14].

En el borde de la red se encuentran los dispositivos finales simples, que se representan a la izquierda, los nodos propagadores se pueden encontrar en la columna de color rosado y finalmente las funciones integradoras se encuentran en la parte final a la derecha.

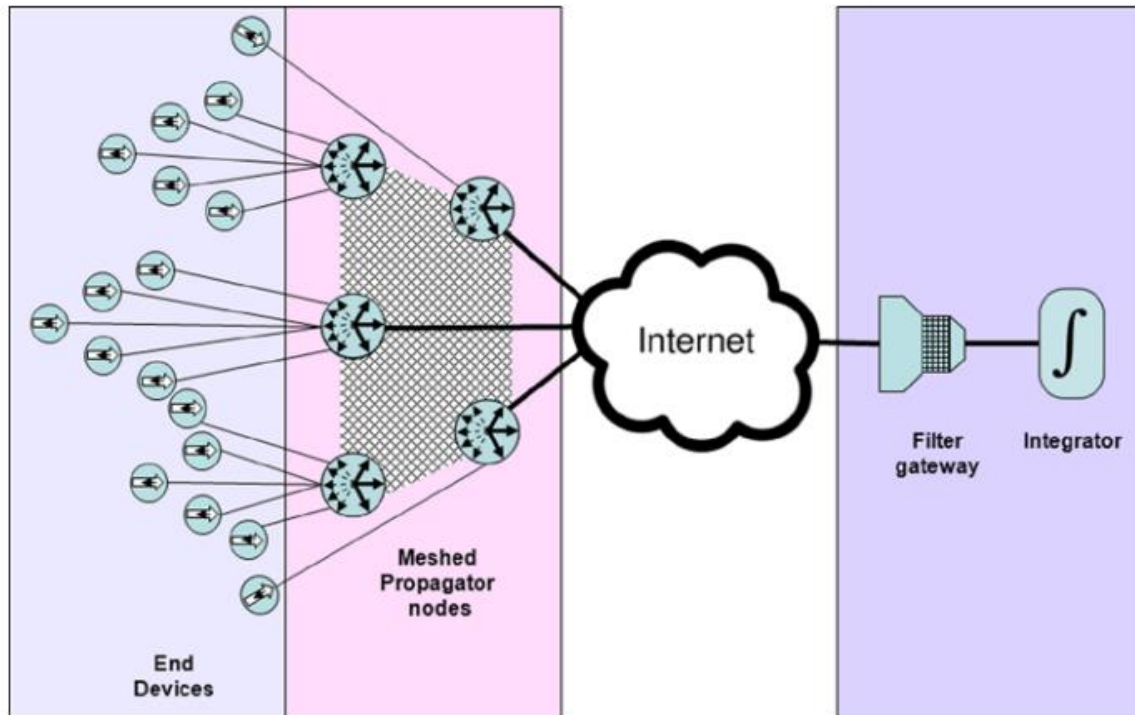


Figura 30. La arquitectura emergente para Internet de las cosas incluye dispositivos finales, collector y funciones integradoras.

A continuación, se explicarán los componentes que hacen parte del proyecto desde la perspectiva de la arquitectura para IoT que se muestra en la figura 31.

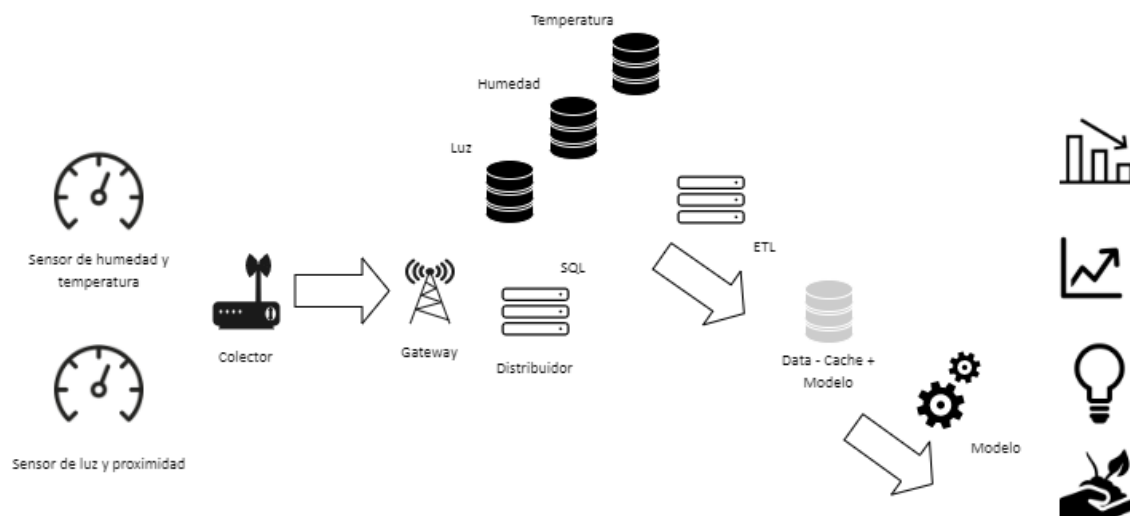


Figura 31. Arquitectura IoT del proyecto.

4.1.1 End devices

Que traducido al español significa “*dispositivo final*” que en la teoría de redes de sensores son las características del hardware y transmiten o reciben pequeñas cantidades de datos de diversas formas: de forma inalámbrica a través de cualquier número de protocolos, a través de una red de líneas eléctricas o al conectarse directamente a un dispositivo de nivel superior. Estos dispositivos de borde simplemente "hablan" sus pequeñas cantidades de datos o escuchan los datos dirigidos hacia ellos [14]. A continuación, se explicará los dispositivos finales del proyecto.

Hardware

En esta sección se explicarán las unidades de medida, el error, la resolución y el rango mínimo y máximo de cada uno de los dispositivos. También se incluirá en el proceso de calibración que se debió realizar a cada uno de los sensores, pero por temas de pandemia este proceso no se pudo llevar a cabo y se tuvieron que comprar sensores calibrados desde fábrica.

1. Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266 [63]

Este sistema de desarrollo para el ESP8266 cuenta con las siguientes características

- Interfaz USB con chip CH340
- Programable en lenguaje LUA
- Integra GPIO, I2C, PWM, 1-Wire y ADC en una sola tarjeta

- Tarjeta Wi-Fi basada en el chip ESP-8266 la cual es compatible con Arduino y con NodeMcu.

2. Sensor de temperatura y humedad HDC1008 [64]

Este sensor cuenta con:

- Voltaje de alimentación: 3V ~ 5V
- Interfaz: I2C, direcciones: 0x40, 0x41, 0x42 o 0x43
- Rango de medición de temperatura: - 20° ~ 85°
- Resolución temperatura: $\pm 0.2^\circ$
- Rango de medición de humedad: 10% ~ 80%
- Resolución humedad: $\pm 4\%$
- Compatible con Arduino™

3. Sensor de luz UV GY-VEML6070 [65]

Tarjeta sensor que integra un sensor de luz ambiente (ALS), un sensor de proximidad (PS) y un LED IR. Es adecuado para aplicaciones que deben estar bajo vidrio transparente.

Características:

- Voltaje de funcionamiento: 3.3V
- Interfaz I2C
- Sensor de luz ambiente con salida lineal efectiva de 16-bit (0-65535)
- 4 rangos dinámicos seleccionables
- Rechazo anti-parpadeo
- Detector de proximidad con salida lineal efectiva de 10 bits (0-1023)
- 4 salidas de corriente seleccionables para el IR
- Alta supresión de luz ambiente

4. Cable USB tipo B para Arduino [66]

Cable USB tipo B para Arduino de 30cm, compatible con tarjetas Arduino UNO y Mega con las siguientes características:

- Cable con conectores tipo B y tipo USB-A
- Longitud: 30cm

5. Adaptador de Voltaje 5V 3A [67]

Adaptador de voltaje AC/DC, con conector USB C para la Raspberry Pi 4 con las siguientes características:

- Voltaje de entrada: 100-240V, 50/60 Hz
- Voltaje de salida: 5V, 3000mA

Proceso de calibración de los sensores

Los sensores que están disponibles en este momento fueron calibrados desde fábrica y no es necesario realizar alguna modificación en ellos, ya que los sensores ya tienen una escala de calibración. A continuación, se explicará cual es el proceso de calibración que se debió realizar para los sensores, tomando como ejemplo el sensor de temperatura.

Se obtienen bits de un sensor, entonces se puede decir que el sensor tiene 8 bits lo que indica que son de 8 bits los que tiene el registro del sensor; se debe tener en cuenta también que cada sensor opera entre una temperatura mínima (T_m) y una temperatura máxima (T_M).

Paso 1

Tomar un sensor calibrado (S_c) el cual servirá como dispositivo de referencia. Luego colocar el lugar en el que se va a realizar el proceso de calibración a algún grado de temperatura. Después, con el sensor que se va a calibrar se toma la temperatura del lugar (la cual llamaremos $T_{sc} 1$) y se hace lo mismo con el dispositivo de referencia. El dispositivo calibrado dará la temperatura real del ambiente, la cual será comparada con la temperatura tomada por el sensor sin calibrar (S_{sc}), ver figura 32.

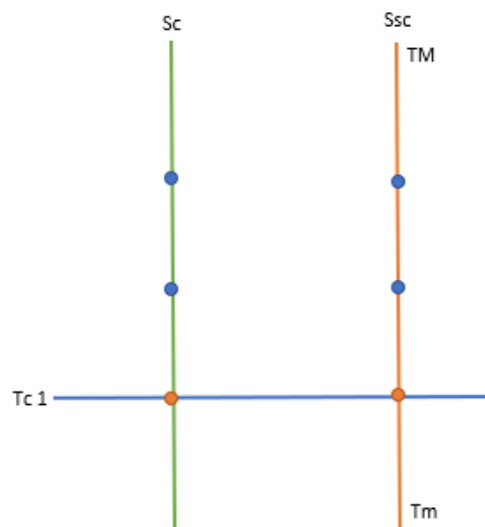


Figura 32. Gráfica de mediciones

Paso 2

En este paso se debe construir una gráfica que muestre los datos de la temperatura calibrada (T_c) frente a la temperatura del sensor sin calibrar (T_{sc}). Si el sistema está perfectamente calibrado, la curva que se debe formar cuando se empiezan a trazar todos estos puntos entre T_c y T_{sc} debe ser una recta con pendiente 1, como se muestra en la figura 33. Pero si el sensor no está calibrado correctamente, sino que tiene un error lo que me va a dar es una curva de corrección dependiendo los datos que se hayan obtenido.

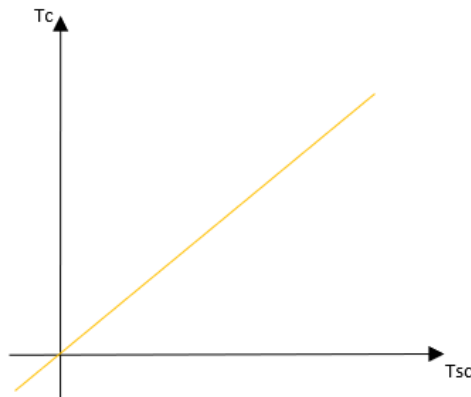


Figura 33. Gráfica con pendiente uno entre la temperatura calibrada (T_c) frente a la temperatura del sensor sin calibrar (T_{sc}).

Paso 3

Si el sensor no quedó correctamente calibrado lo que se debe hacer para calibrarlo es determinar cuál es la ecuación de calibración, para ello se debe colocar en el mismo ambiente, un aparato de referencia que tiene un laboratorio certificado, y el sensor sin calibrar con una temperatura y lo que sigue es tomar valores. Por ejemplo, si la temperatura en la habitación es de 10° , el dispositivo da los 10° y el sensor sin calibrar mide 8° , en la siguiente toma de medidas, la temperatura de 29° el sensor dio 27° , y para la tercera medición la temperatura es de 47° el sensor dio 45° , entonces con esta serie de medidas se puede decir que se encontró que un error lineal de 2° con respecto al sensor calibrado.

Para finalizar el proceso de calibración se debe aplicar la ecuación de corrección la cual es:

$$((\text{Función a la que llegó el sensor}) \times (\text{pendiente de corrección})) + \text{upset de error}$$

Ecuación 1. Proceso de calibración

4.1.2 Collector

Los datos generalmente se recopilan dentro del collector, se agrupan y se podan según sea necesario para la transmisión, y luego se envían generalmente a través de Internet tradicional. Para efectos del proyecto es la tarjeta NodeMCU la que cumple la función de collector. Existe tres procesos importantes que se realizan dentro del colector los cuales se explicarán a continuación.

1. Collection: Proceso en el cual se realiza la captura de uno o varios datos que vienen puros de los sensores y se procesan, esto mediante la comunicación I²C.
2. Pruning: Una de las capacidades importantes de los nodos propagadores es poder podar y optimizar las transmisiones. Los datos que pasan desde y hacia los

dispositivos finales pueden combinarse con otro tráfico y enviarse en la dirección general de su "flecha" de transmisión como se puede ver en la figura 31. Aunque lo anterior describe la función genérica de los nodos propagadores, muchos también incorporarán una capacidad adicional importante: la capacidad de ser gestionados y "sintonizados" por funciones integradoras en la red [14].

3. Bundling: Es el paso que se realiza del collector al distribuidor.

4.1.3 Integrador

Las funciones de integración son donde se analizan y se actúa sobre los flujos de datos de cientos a millones de dispositivos. Las funciones de integración también envían sus propias transmisiones para obtener información o establecer valores en los dispositivos; por supuesto, la flecha de transmisión de estos datos apunta hacia los dispositivos. Las funciones de integración también pueden incorporar una variedad de entradas, desde big data hasta tendencias de redes sociales, y desde "me gusta" de Facebook hasta informes meteorológicos. En esta arquitectura emergente, las funciones del integrador son la interfaz humana para IoT. Como tales, se construirán para reducir la insondable gran cantidad de datos recopilados durante un período de tiempo a un simple conjunto de alarmas, excepciones y otros informes para el consumo humano [14].

Software

Es un programa de monitoreo inteligente que ofrece la función de medir la temperatura, humedad y nivel de luz, variables que se consideran de interés para el crecimiento del cultivo. Este programa es visualmente atractivo y permitirá a los usuarios monitorear y controlar su cultivo a través de una aplicación web.

Software cuenta con un tablero que muestra el estado de la temperatura, la luz y la humedad del dispositivo. Así también su panel ofrece una función de ciclo de vida, un recordatorio de riego, y dependiendo del cultivo hay que ir siguiendo las instrucciones en el software o en la aplicación para definir los elementos. Los datos del sensor se encuentran en el tablero y cualquier otro dato está a solo un clic.

HISTORIAS DE USUARIO					
Número	Acción	Razón	Acción a realizar	Importancia	Tipo de acción
1	Registro	El usuario podrá registrarse en la aplicación para tener seguimiento de sus cultivos.	Ingresar a la base de datos, los datos relacionados con el usuario, como por	ALTA	Registro en base de datos

			ejemplo el nombre, apellido, y una contraseña. Luego de esto se debe mostrar un mensaje confirmando la correcta creación de la cuenta.		
2	Login	El usuario podrá ingresar a la aplicación mediante las credenciales obtenidas en el proceso de registro.	Buscar las credenciales en la base de datos y verificar que el usuario exista.	ALTA	Búsqueda en la base de datos
3	Sincronización de la aplicación	El usuario podrá sincronizar la aplicación móvil con su dispositivo mediante una clave que se generará el dispositivo.	Generar un número aleatorio de 4 dígitos.	ALTA	Generar un número aleatorio
4	Crear cultivo	El usuario podrá ingresar a la aplicación los datos necesarios para iniciar con el cultivo de sus plantas.	Registrar en la base de datos los datos sobre el cultivo ingresados por usuario.	ALTA	Registro en base de datos
5	Información del cultivo	El usuario podrá ver la información recolectada por los	Mostrar en pantalla la información recolectada	MEDIA	Consulta de información en la base de datos.

		sensores que se encuentran incorporados en el dispositivo.	por los sensores.		
6	Ver cultivos	El usuario podrá ver el listado de dispositivos que tienen emparejados con la aplicación.	Mostrar en pantalla el listado de dispositivos emparejados con la aplicación.	MEDIA	Consulta de la información de los dispositivos relacionados al perfil del usuario
7	Abonar el cultivo o hacer procesos de mantenimiento del cultivo	El usuario podrá agregar al agua del cultivo sustancias que mejoren su fertilidad.	Mostrar en pantalla las advertencias necesarias para poder preservar el cultivo.	ALTA	Consulta de las a las reglas del modelo.
8	Recoger el cultivo	El usuario podrá realizar la cosecha del cultivo.	Mostrar en pantalla una alerta que indique que el cultivo está listo para la cosecha.	ALTA	Consulta de las a las reglas del modelo.

Tabla 51. Historias de usuario para la aplicación web.

1. Server

Esta sección se identifican los elementos que hacen parte en el diseño de software, se explicarán de una manera muy clara cuales son los elementos claves para la visualización de los datos a través de la realización del aplicativo móvil que ayudará al usuario con el monitoreo inteligente de las variables de importancia sobre el cultivo.

El front end se podría definir como la parte del software a través de la que se interactúa con los usuarios y el back end es aquella que procesa las entradas desde el front end. Es decir, el usuario ingresa a través de un front end y el back end procesa sus datos, o lo que es lo mismo, el front end es la parte visible de una página web y el back end aquella que se utiliza para la administración de esta. A continuación, se explicarán estos conceptos aplicados al aplicativo web que se va a construir.

A. Back end

Se tienen un servidor web, una base de datos en la nube y el distribuidor es la parte que procesa los datos que llegan del colector y los lleva a la base de datos. Existe un proceso de adaptación, transformación y carga que se realiza cuando se toman los datos que vienen de la base de datos, se transforman y son procesados para que queden en un modelo de toma de decisiones. Se tiene también un modelo de toma de decisiones que es un modelo de reglas y son estas las que definen el proceso de desarrollo del cultivo.

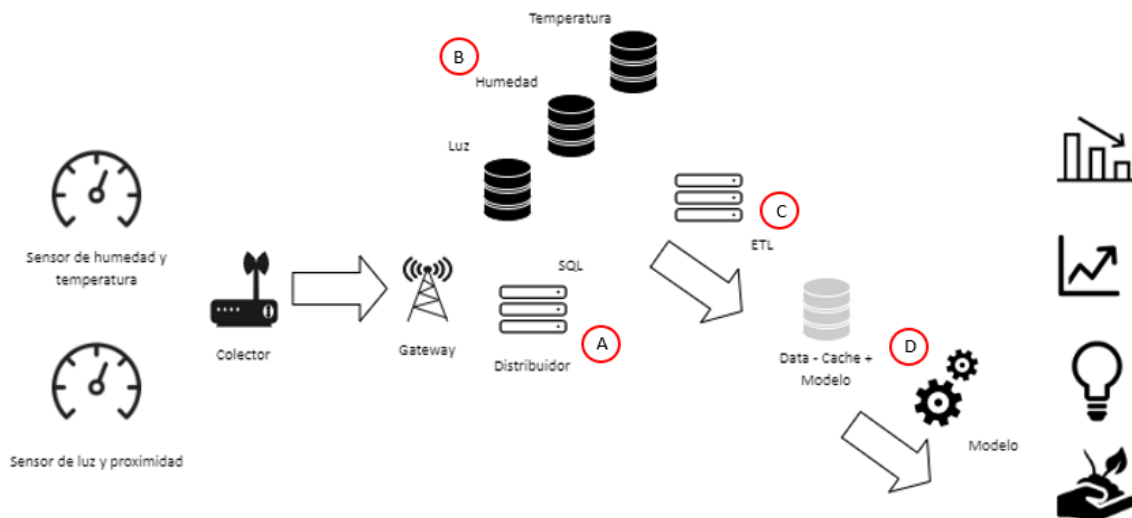


Figura 34. Arquitectura IoT del proyecto.

A continuación, se explicarán los elementos que componen la parte del integrador de la arquitectura.

- A. Lo que se va a hacer es crear en la nube una base de datos para cada variable de interés, esto sería una base de datos de luz, una de humedad y finalmente una para los datos de temperatura.
- B. Distribuidor, va a estar en la nube capturando los datos que vengan de los sensores y los va a estar guardando en cada una de las tres bases de datos. La nube se encuentra alojada en los servidores de Amazon, entonces todo eso se va a desarrollar a través de máquinas virtuales en Amazon.
- C. ETL, este elemento se encarga de la extracción, transformación y carga. En el proyecto este elemento se encargará del proceso de sobre muestreo y de ajustar los tiempos de muestreo para que se puedan recibir los datos. Lo que hace es que coge los datos de cada una de las bases de datos, los va a sacar y va a construir un modelo de datos. Entonces es aquí donde va a quedar una base de datos que tiene el modelo de datos como se necesita, es decir ahí se va a tener la temperatura, humedad y luz cada cinco minutos, y este modelo los necesita todos al mismo

tiempo ubicados en la misma planta con una resolución específica para que se puedan procesar con el mismo muestro.

- D. Modelo de la planta, este es un modelo de toma de decisiones y visualización. Por ello se va a poder visualizar la información y con ello se va a poder realizar la toma de decisiones y va a permitir realizar acciones para llevar a cabo el cultivo de la planta o su recolección. Para ello se va a construir una máquina de estados o una forma que pueda informar cómo está creciendo la planta y que tipo de estadísticas está arrojando y con ello se determinará cuando la planta está lista para cultivarse o cuanto es el momento en que se le tiene que poner de luz, agregar abono o agua.

B. Front end

Se va a realizar un sistema de toma de decisiones con visualización de datos al usuario mediante una página web, para este fin empleamos la nube de AWS (Amazon Web Services) desarrollando los servicios mediante máquinas virtuales y desarrollos en un framework por Python.

El desarrollo visual de la página fue hecho en Python 3.8, usando dash y flask para crear la aplicación de análisis web. Dash es un marco productivo de Python para crear aplicaciones de análisis web. Escrito sobre Flask, Plotly.js y React.js, Dash es ideal para crear aplicaciones de visualización de datos con interfaces de usuario altamente personalizadas en Python puro. Es especialmente adecuado para cualquiera que trabaje con datos en Python. A través de un par de patrones simples, Dash abstrae todas las tecnologías y protocolos necesarios para construir una aplicación interactiva basada en la web. Dash es lo suficientemente simple como para vincular una interfaz de usuario a su código Python en una tarde. Las aplicaciones de Dash se representan en el navegador web. Puede implementar sus aplicaciones en servidores y luego compartirlas a través de URL. Dado que las aplicaciones de Dash se ven en el navegador web, Dash es intrínsecamente multiplataforma y listo para dispositivos móviles [68].

A continuación, se muestran algunos pantallazos de la interfaz gráfica.



Login

Figura 35. Login de usuario



Registrar

Figura 36. Proceso de ingreso del cultivo y sincronización del dispositivo con la aplicación

En las figuras 37, 38, 39 y 40 se muestran algunas de las pantallas de notificación, que aparecerían después de que el usuario termine de configurar su cuenta.

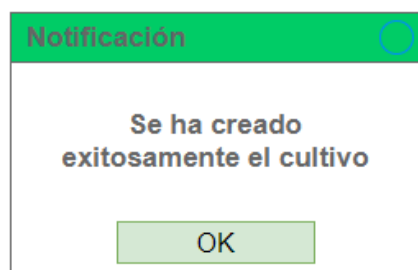


Figura 37. Notificación de creación exitosa del cultivo.

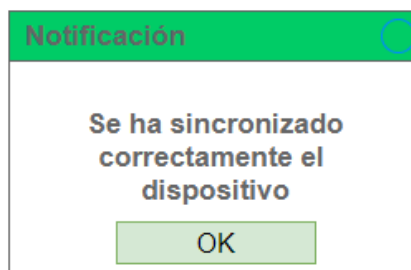


Figura 38. Notificación de sincronización exitosa del dispositivo.

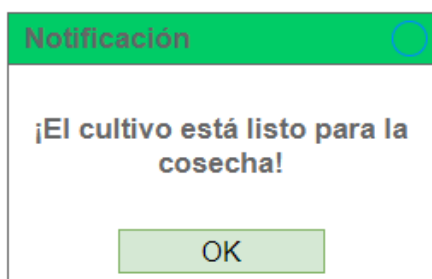


Figura 39. Notificación para la cosecha del cultivo.

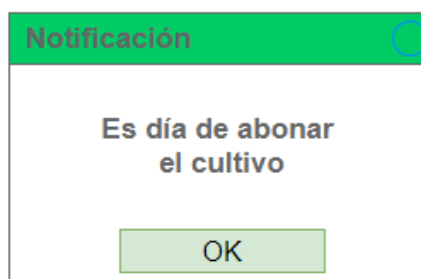


Figura 40. Notificación de recordatorio para abonar el cultivo.

4.2 Documentación del desarrollo de la aplicación

4.2.1 Descripción de la metodología

Al tratarse de un proyecto de desarrollo y adopción de un conjunto de servicios de base tecnológica, se utilizará Scrum como esquema para desarrollar los prototipos y cada una de las funcionalidades. Scrum es un marco de referencia ágil para gestionar proyectos en empresas de cualquier sector y de cualquier tamaño. Scrum enfatiza el trabajo en equipo creativo y adaptativo para resolver problemas complejos. Usados de forma correcta puede ayudar a los equipos a entregar en períodos cortos, productos con valor. Esto con la finalidad de recibir una retroalimentación temprana, que permitirá mejorar continuamente y actuar en el preciso momento frente a cambios o imprevistos [69].

4.2.2 Cronograma

A continuación, en la tabla 52 se mostrará el cronograma de actividades que se debe seguir para llevar a cabo el desarrollo del aplicativo web.

Actividades	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13
Hardware de la unidad productiva agrícola													
Front end del servidor													
Back end del servidor													
Depuración													
Pruebas técnicas													

Tabla 52. Cronograma de actividades.

4.2.3 Matriz de Riesgo

Teniendo en cuenta la gestión de riesgos, en la tabla 53 se presenta una matriz de riesgos la cual muestra los riesgos que fueron identificados para el proyecto. Posteriormente se encuentra el análisis y el plan de mitigación en respuesta a cada uno de los riesgos. La evaluación de cada uno de los riesgos está basada en el PMBOK 2018 sexta edición. La figura 41 muestra como se realizará la calificación a cada uno de los riesgos identificados.

MATRIZ DE RIESGO							
			IMPACTO				
			MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
			1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
	ALTA	4	4	8	12	16	20
	MEDIA	3	3	6	9	12	15
	BAJA	2	2	4	6	8	12
	MUY BAJA	1	1	2	3	4	5
	Riesgo muy grave. Requiere medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proyecto sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.						
	Riesgo importante. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proyecto.						
	Riesgo apreciable. Estudiar económicamente ai es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.						
	Riesgo marginal.Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.						

Figura 41. Matriz de riesgos.

	Riesgo	Aparición	Gravedad	Valor del riesgo	Nivel de riesgo
R001	Dañar los sensores o el microcontrolador durante el desarrollo y la instalación.	2	5	10	Importante
R002	Alterar el funcionamiento del sensor durante las configuraciones y pruebas.	1	4	4	Apreciable
R003	Bloquear el microcontrolador cargándole un código con errores.	2	5	10	Importante
R004	Que se mojen los sensores y el microcontrolador durante el llenado del contenedor de agua.	2	4	8	Apreciable
R005	Que los sensores no midan las variables de interés.	1	5	5	Apreciable
R006	No conseguir los sensores necesarios.	1	4	5	Apreciable
R007	Perdida del avance del código.	3	3	9	Importante
R008	Que se dañe la estructura del dispositivo.	1	4	4	Apreciable
R009	Daño del computador principal.	2	4	8	Apreciable

Tabla 53. Matriz de Riesgos.

4.2.4 Plan de Mitigación

En la tabla 54 se puede encontrar el plan de mitigación que se presenta para cada riesgo identificado tiene la finalidad de reducir la probabilidad de sufrir consecuencias negativas asociadas con los riesgos del proyecto.

Riesgo	Tiempo de espera	Plan A
R001	1 día	- Comprar nuevos sensores vía internet asumiendo los costos adicionales de envío. - Prestar los sensores necesarios en los laboratorios de la universidad.
R002	2 días	- Tener por lo menos un sensor extra de cada tipo para poder reemplazar el que posiblemente esté alterado.
R003	1 día	- Antes de cargar cualquier código al microcontrolador se realizará una revisión y corrección de errores de programación. Además de esto se realizará una revisión por pares para verificar el código.
R004	2 días	- Tener repuestos de cada parte del hardware por posibles daños.

R005	1 día	- Revisar la calibración de los sensores.
R006	2 días	- Si se presentara este caso, se usarían otras referencias de sensores que funcionen de manera similar a las que se tenían planteadas inicialmente.
R007	3 días	- Crear un repositorio donde guardar el código.
R008	2 días	-Tener piezas extras para la reparación.
R009	1 día	- Crear repositorios en la nube.

Tabla 54. Plan de Mitigación.

CAPÍTULO 5

Procesos realizados en el collector

Después de definir los componentes de hardware y software necesarios para el proyecto, de conocer y entender los procesos de IoT que se tiene que realizar para la recolección, almacenamiento y tratamiento de los datos, se procede al diseño e implementación del hardware. En esta etapa se explicarán algunos conceptos para tener en cuenta, también se explicarán a detalle cómo se realizó el proceso IoT del sistema que está compuesto por *collection*, *pruning* y *bundling*.

5.1 Collection

En este proceso se realizará la recolección de datos que se han considerados importantes para la toma de decisiones sobre un cultivo, los cuales son luz, humedad y temperatura. Estos datos serán captados por los sensores que fueron seleccionados en el capítulo 4 mediante el protocolo de comunicación serial que está establecido para cada uno de estos dispositivos. Como los dispositivos utilizan el mismo protocolo de comunicación se pueden conectar al mismo bus porque es un protocolo serial.

Antes de mostrar cómo se realizó el proceso de collection es importante introducir algunos conceptos, tales como el protocolo I²C, que es un protocolo síncrono que permite la comunicación entre los sensores de un sistema.

Protocolo I²C

I²C es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados). La versión 1.0 data del año 1992 y la versión 2.1 del año 2000, su diseñador es Philips. La velocidad es de 100 kbit/s en el modo estándar, aunque también permite velocidades de 3.4 Mbit/s. Es un bus muy usado en la industria, principalmente para comunicar microcontroladores y sus periféricos en sistemas integrados (Embedded Systems) y generalizando más para comunicar circuitos integrados entre sí que normalmente residen en un mismo circuito impreso. [70]

El bus de comunicaciones I²C, es un protocolo que se efectúa por medio de dos hilos, uno para el reloj (SCL) y otro para el dato (SDA) [70]. A través de estos dos hilos pueden conectarse diferentes dispositivos donde algunos de ellos serán maestros (siempre controlan la línea SCL e inician transferencias de datos en la línea SDA), en cuanto muchos otros dispositivos serán esclavos (solo pueden responder a un dispositivo maestro). Esto significa que el maestro y el esclavo envían datos por el mismo cable, el cual es controlado por el maestro, que crea la señal de reloj. I²C no utiliza selección de esclavo, sino direccionamiento. La principal característica de I²C es que utiliza dos líneas para transmitir

la información, una para los datos y otra para la señal de reloj. También es necesaria una tercera línea, pero esta sólo es la referencia (masa). Como suelen comunicarse circuitos en una misma placa que comparten una misma masa esta tercera línea no suele ser necesaria [70].

Las líneas se llaman

- **SCL** (System Clock) es la línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.
- **SDA** (System Data) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos.
- **GND** (Masa) común de la interconexión entre todos los dispositivos «enganchados» al bus.

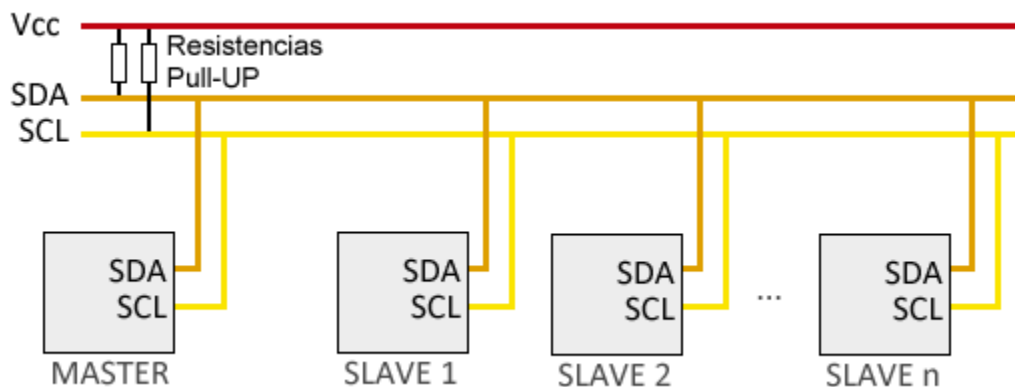


Figura 42. Esquema de un bus I²C.

En la figura 41 se muestra un diagrama de bloques que muestra una configuración básica de I²C. Las dos primeras líneas son drenador abierto, por lo que necesitan resistencias de pull-up. Dos o más señales a través del mismo cable pueden causar conflicto, y ocurrirían problemas si un dispositivo envía un 1 lógico al mismo tiempo que otro envía un 0. Por tanto, el bus es "cableado" con dos resistencias para poner el bus a nivel alto, y los dispositivos envían niveles bajos. Si quieren enviar un nivel alto simplemente lo comunican al bus [70].

Los dispositivos conectados al bus I²C tienen una dirección única para cada uno, en el caso de los sensores que se están usando para realizar el desarrollo del proyecto el sensor HDC1008 (humedad y temperatura) tiene una dirección I²C predeterminada de 0x40 y el sensor AP3216C (luz y proximidad) tiene la dirección 0x1E. El dispositivo maestro inicia la transferencia de datos y además genera la señal de reloj, pero no es necesario que el maestro sea siempre el mismo dispositivo, esta característica se la pueden ir pasando los dispositivos que tengan esa capacidad. Esta característica hace que al bus I²C se le denomine bus multimaestro. Las líneas SDA y SCL son del tipo drenaje abierto, es decir, un estado similar al de colector abierto, pero asociadas a un transistor de efecto de campo (o FET). Se deben polarizar en estado alto (conectando a la alimentación por medio de resistores "pull-up") lo que define una estructura de bus que permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas. [70].

Después de conocer el protocolo I²C, y saber cuál es su importancia para la comunicación de los sensores, se explicará el funcionamiento del código que se realizó para cada uno de los sensores. Estos códigos son los encargados de realizar la configuración necesaria para cada uno de los sensores se encargue de la recolección de la información que proviene de los sensores. En la figura 43 se muestra el diagrama de la conexión eléctrica general del sistema.

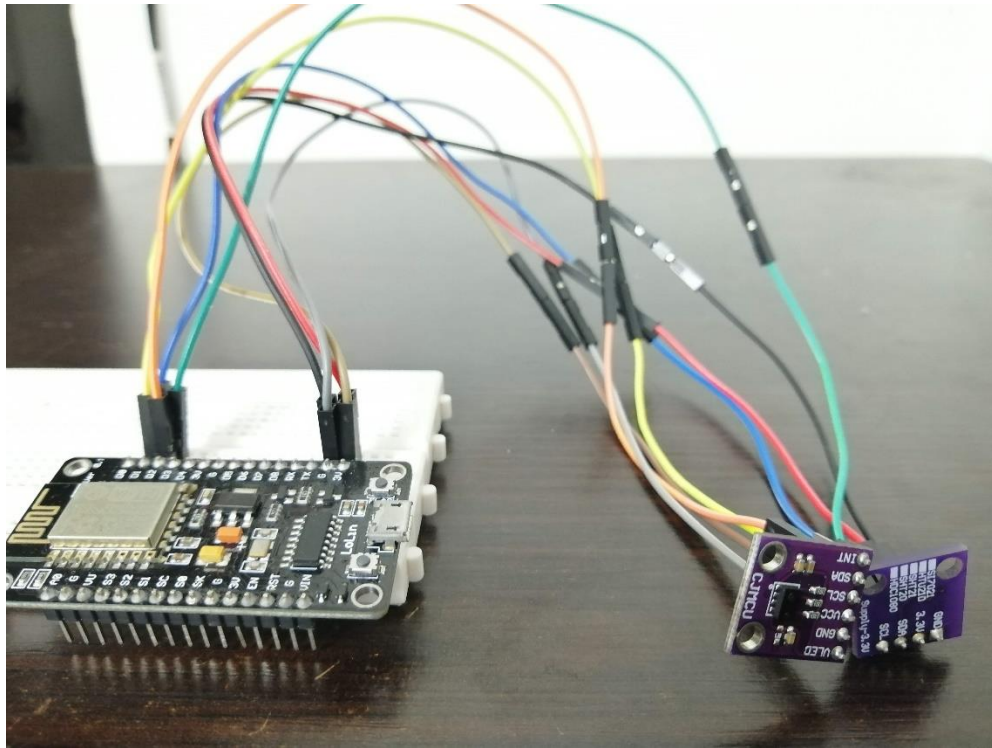


Figura 43. Esquema diagrama de la conexión eléctrica general del sistema.

La tarjeta MCU envía un paquete por la interfaz, este paquete contiene una orden y el sensor responde con un paquete que es la respuesta. Entonces el maestro (tarjeta MCU) hace una orden y el sensor de Humedad y temperatura (esclavo 1) y el de luz y proximidad (esclavo 2) hacen un responsive.

A lo largo del tiempo el maestro y los esclavos escriben una orden. Esa orden si se mira al detalle es una palabra que tiene muchos bits. Esos bits tienen una cabecera de sincronización (inicio), un registro de dirección y una orden (comando). El registro dice a quien se le envían los datos y el comando da la orden. Entonces si en la dirección de escritura se envía un comando que diga que se envíen los datos del 0x40 (dirección I²C) estos dos chips reciben el mismo paquete, pero el que tiene la dirección 0x40 en el comando es el único que responde y cuando responde, en su trama de respuesta en donde están sus dos datos aparece la humedad y la temperatura.

Ahora, desde el punto de vista lógico lo que ocurre es que se conectan los sensores al colector (tarjeta MCU). Cada uno lo que que está haciendo es que cada vez que el colector les

pida un dato, los sensores van a estar mandando los paquetes de humedad y temperatura y otro los de luz. La idea es coleccionar muchas muestras de tal manera que se puede reducir el error de medición de cada muestra.

Por ejemplo, si se toman 20 muestras en un mismo segundo, se debe observar si estas muestras oscilan alrededor de un valor, esto típicamente tiene un comportamiento normal. Entonces lo que se hace es que se toman todas esas muestras y se promedian dentro de la tarjeta MCU. Al tomar todas estas muestras se obtiene el promedio. Entonces esa medición de humedad, temperatura y luz promedio está eliminando el ruido o el error intrínseco que tiene cada una de las muestras.

Cabe aclarar que el proyecto está dirigido para cultivos urbanos donde los sensores están conectados a la electricidad por ello no cuenta con baterías para mantener funcionamiento del dispositivo, sino que está conectado a la electricidad ya que es un proyecto para desarrollo in house. El uso de la electricidad permite que se pueda realizar la toma de datos todo el tiempo que se desee. Si este no fuera el caso, o sea, si se contara con un sistema con baterías en un cultivo externo, tocaría realizar la toma de datos muy de vez en cuando porque si no se terminarían las baterías del sensor.

Descripción del circuito para el sensor HDC1008

Inicialmente se conectará un sensor HDC1008 a un módulo NodeMcu V3 para ESP8266. Este sensor de humedad y temperatura digital tiene una precisión típica de $\pm 4\%$ con un rango operativo optimizado de 10% a 80% de HR. La salida de temperatura tiene una precisión típica de $\pm 0,2^\circ \text{C}$ desde $-20 \sim 85^\circ \text{C}$ [72].

La conexión del sensor con la placa requiere 4 cables. Podemos obtener energía del pin de 3V en la tarjeta NodeMcu. A continuación, se muestra la conexión utilizada:

Conecte SCL a D1

Conecte SDA a D2

Conecte 3.3V a 3V

Conecte GND a G

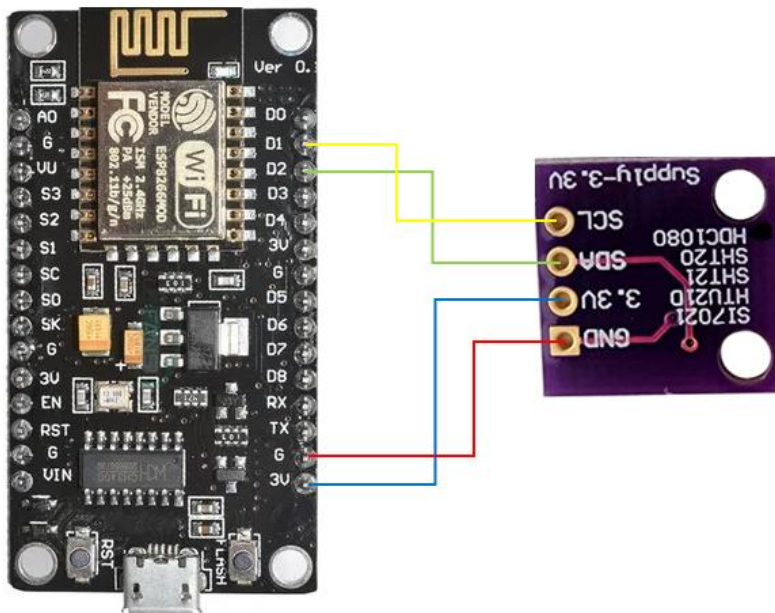


Figura 44. Diagrama de conexión para el sensor de humedad y temperatura HDC 1008.

Para poder iniciar con la lectura de los datos del sensor, se deberá descargar la biblioteca Adafruit_HDC1000 desde el administrador de la biblioteca Arduino. Esta es una biblioteca para el sensor de temperatura y humedad HDC1008. Si se está utilizando Arduino IDE 1.6.5 o posterior, puede importar fácilmente esta biblioteca yendo a Sketch -> Incluir biblioteca -> Administrar bibliotecas. Para usar el bus I²C en Arduino, el IDE Standard proporciona la librería "Wire.h", que contiene las funciones necesarias para controlar el hardware integrado [70].

```
//Se importan las librerías
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_HDC1000.h"
```

Figura 45. Fragmento de código que muestra la importación de las librerías.

Con el fragmento de código que se muestra en la figura 46 se crea una instancia del sensor que se va a utilizar.

```
//Se configura una instancia del sensor
Adafruit_HDC1000 hdc = Adafruit_HDC1000();
```

Figura 46. Creación de la instancia del sensor.

En el setup se establecen las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. Aquí se establecen algunos criterios que requieren una ejecución única. Por ejemplo, en este programa se va a usar comunicación serial, es por ello, que en el setup se establece el comando "Serial.begin" para indicarle al programa que se va a iniciar la comunicación serial y en que frecuencia se va a realizar. Para este caso es a 9600.

```
void setup() {
  //Se inicializa la comunicación serial y se valida que se esté comunicando el sensor
  Serial.begin(9600);
}
```

Figura 47. Inicialización de la comunicación serial.

El ciclo que se muestra en la figura 48, lo que hace es que se intenta inicializar a esa función. Esta esta función devuelve Verdadero si el sensor se encontró y respondió correctamente y Falso si no se encontró. Entonces lo que sucede es que el programa internamente manda una trama de interrogación al sensor y este responde con una trama que tiene un acknowledge de okey. Después de estos se inicia la configuración del sensor, ocurre que se prenden los registros, se activa el sensor y se leen todos los parámetros de humedad y temperatura.

```
// se comprueba si el sensor está conectado y el Arduino lo puede encontrar
if (!hdc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find sensor!");
  while (1);
}
}
```

Figura 48. Se comprueba si el sensor está conectado al Arduino.

Luego de realizarse el ciclo, se va a leer la humedad para ello es necesario invocar la lectura de la función humedad. Una vez inicializado el sensor, se puede consultar la temperatura en °C con “hdc.readTemperature()”. Que devolverá la temperatura en una variable de tipo punto flotante (decimal + fraccional). Para leer la humedad se debe llamar de la siguiente manera “hdc.readHumidity()”. Así se leerá la humedad también como una variable de tipo punto flotante entre 0 y 100 (esto lee el porcentaje de humedad). Finalmente, los datos recolectados por los sensores son mostrados en pantalla.

```
void loop() {
  //Imprime los valores que toma el sensor
  Serial.print("Temp: "); Serial.print(hdc.readTemperature());
  Serial.print("\t\tHum: "); Serial.println(hdc.readHumidity());
  delay(500);
}
```

Figura 49. Se invoca la lectura de la función humedad.

Descripción del circuito para el Sensor de luz y proximidad AP3216 (CJMCU 3216)

Se conectará un sensor de luz y proximidad a un módulo NodeMcu V3 para ESP8266. El AP3216C es un módulo ALS & PS integrado que incluye un sensor de luz ambiental digital [ALS], un sensor de proximidad [PS] y un LED IR en un solo paquete. Este dispositivo proporciona una función de ganancia múltiple con respuesta lineal en un rango dinámico

365/1460/5840/23360 y es muy adecuado para aplicaciones bajo vidrio transparente o vidrio oscuro. Amplio rango de temperatura de funcionamiento (-30 ° C a + 80 ° C) [73].

La conexión del sensor con la placa requiere 4 cables. Podemos obtener energía del pin de 3V en la tarjeta NodeMcu. A continuación, se muestra la conexión utilizada:

Conecte SCL a D1

Conecte SDA a D2

Conecte 3.3V a 3V

Conecte GND a G

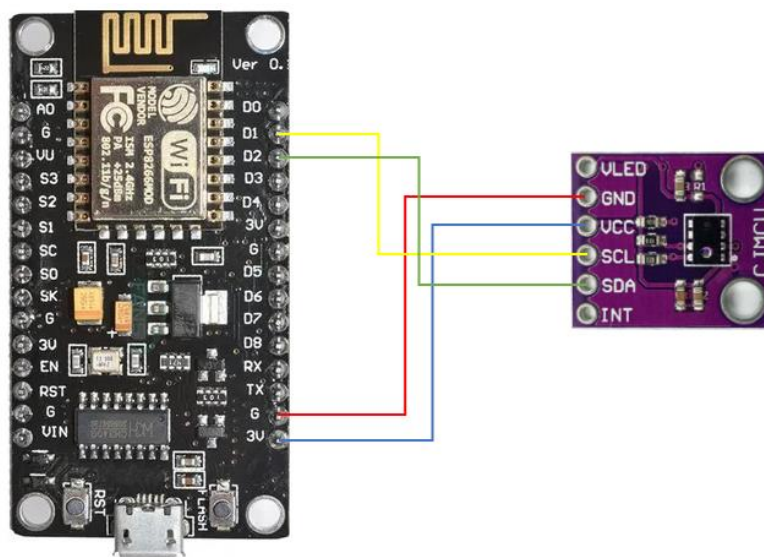


Figura 50. Diagrama de conexión para el sensor de luz y proximidad.

En este caso se deberá descargar la librería AP3216_WE desde el administrador de la biblioteca Arduino. Esta biblioteca Arduino es para el sensor de proximidad y luz ambiental AP3216 (CJMCU 3216), la cual ha implementado todas las funciones disponibles de este módulo [74]. Algunas de ellas se explicarán posteriormente. Para usar el bus I²C en Arduino, el IDE Standard proporciona la librería “Wire.h”, que contiene las funciones necesarias para controlar el hardware integrado [70]. Con el fragmento de código que se muestra en la figura 50. se crea la instancia AP3216_WE del sensor que se va a utilizar.

```
#include <Wire.h>
#include <AP3216_WE.h>
```

Figura 50. Fragmento de código que muestra la importación de las librerías.

Con el fragmento de código que se muestra en la figura 51 se crea la instancia AP3216_WE del sensor que se va a utilizar.

```
AP3216_WE myAP3216 = AP3216_WE();
```

Figura 51. Creación de la instancia del sensor.

En el setup se establecen las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. Aquí se establecen algunos criterios que requieren una ejecución única. Por ejemplo, en este programa se va a usar comunicación serial, es por ello, que en el setup se establece el comando “Serial.begin” para indicarle al programa que se va a iniciar la comunicación serial y en que frecuencia se va a realizar. Para este caso es a 9600.

La función “Wire.begin()” inicializa la librería Wire y conecta a Arduino al bus I²C además de especificar si se conecta como maestro o esclavo. Si no se especifica la dirección, Arduino se conectará al bus como maestro, mientras que si ésta se indica lo hará como esclavo y asumiendo la dirección que se la ha proporcionado [75].

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  Wire.begin();  
}
```

Figura 52. Inicialización de la comunicación serial.

A continuación, en la tabla 54 se muestra el listado de funciones AP3216 que fueron usadas en la implementación del código [76].

Función	Parámetros	Lo que hace
myAP3216.init()	Ninguno	Inicia el sensor con algunos valores de registro
myAP3216.setLuxRange(RANGE_20661)	4 rangos de lux: RANGE_20661(predeterminado) - RANGE_5162, - RANGE_1291 - RANGE_323	RANGE_x significa que el rango es de 0 a x Lux. Rango más pequeño = resolución más alta
myAP3216.setPSGain(2)	4 valores de ganancia: 1, 2 (predeterminado), 4, 8.	Una ganancia más alta aumenta la sensibilidad

myAP3216.setNumberOfLEDPulses(1)	Elija entre: 1(predeterminado),2,3 pulsos de LED para proximidad.	Número de pulsos LED por medición de proximidad aumentan (ligeramente) la distancia máxima.
myAP3216.setPSMeanTime()	Elija entre: 0 (PS_MEAN_TIME_12_5) 1 (PS_MEAN_TIME_25) 2 (PS_MEAN_TIME_37_5) 3 (PS_MEAN_TIME_50)	- Tiempo para la medición del sensor de proximidad continuo. - 12.5 ms (predeterminado). - Valores más altos, incrementan la exactitud.
myAP3216.setPSThresholds(300, 800)	Umbrales en lux.	Elija el umbral de proximidad inferior y superior para la función "objectIsNear"
myAP3216.setPSIntegrationTime(1)	Elija entre: 1(predeterminado),2,3,4...15 y 16.	- Establece el tiempo de integración para el sensor de proximidad continuo. - Valores más altos podrían incrementar la distancia y exactitud máxima.
myAP3216.setPSInterruptMode (INT_MODE_HYSTERESIS)	Elija entre: 0 (INT_MODE_ZONE) 1(INT_MODE_HYSTERESIS) (predeterminado)	La función "objectIsNear" solo funciona con este modo.

Tabla 55. Listado de funciones AP3216 usadas en el código.

```

myAP3216.init();
myAP3216.setLuxRange(RANGE_20661);
myAP3216.setPSGain(2);
myAP3216.setNumberOfLEDPulses(1);
myAP3216.setPSMeanTime(PS_MEAN_TIME_50);
myAP3216.setPSThresholds(300, 800);
myAP3216.setPSIntegrationTime(1);
myAP3216.setPSInterruptMode(INT_MODE_HYSTERESIS);
delay(1000);
}

```

Figura 53. Funciones AP3216 que fueron usadas en la implementación.

En el void loop están las funciones que se ejecuta un número infinito de veces. Al encenderse el Arduino se ejecuta el código del setup y luego se entra al loop, el cual se repite de forma indefinida hasta que se apague o se reinicie el microcontrolador. En la tabla 55 se muestra el listado de algunas funciones AP3216 que fueron usadas en la implementación del código [76].

Función	Parámetros	Lo que hace
myAP3216.getAmbientLight()	Ninguno.	Retorna el valor de la luz ambiente.
myAP3216.getProximity()	Ninguno.	Retorna el valor de Proximidad
myAP3216.getIRData()	Ninguno.	Devuelve la luz infrarroja ambiental
myAP3216.objectIsNear()	Ninguno.	Devuelve si un objeto está dentro del umbral sensor de proximidad continuo o más allá del límite superior; el límite superior debe cruzarse una vez.

myAP3216.irDataIsOverflowed()	Ninguno.	Devuelve si el registro de datos IR está fuera del límite; si es verdadero, es posible que el valor del sensor de proximidad continuo no sea válido.
-------------------------------	----------	--

Tabla 56. Listado de funciones AP3216 usadas en el código.

Finalmente, la ultima linea lo que hace es que imprime el valor de la luz ambiente continua (ALS) en lux.

```
void loop() {
    //Inicializa las variables que toma el sensor
    float als = myAP3216.getAmbientLight();
    unsigned int prox = myAP3216.getProximity();
    unsigned int ir = myAP3216.getIRData(); // Ambient IR light
    bool isNear = myAP3216.objectIsNear();
    bool irIsValid = !myAP3216.irDataIsOverflowed();

    //Imprime los datos que toma el sensor
    Serial.print("Lux: "); Serial.print(als);
}
```

Figura 54. Configuración de las funciones del sensor.

En conclusión, el proceso de collection es en donde se toman todas las muestras de humedad, temperatura y luz que se reciben de los sensores. Estos valores se almacenan en una memoria temporal dentro del microcontrolador y finalmente se promedian y se envía solo este dato al servidor y así es como inicia el proceso de pruning.

5.2 Pruning

Este proceso consiste en el envío de una medida o parámetro estadístico. Estos parámetros son el resumen en unos pocos valores de la información del total de datos recolectados en el proceso de collection. Estas medidas estadísticas darán información sobre el comportamiento de los datos, de manera que sea posible captar rápidamente la estructura de estos.

Como se menciona en el proceso de collection, se hace por ejemplo si se toman 20 muestras, esas 20 muestras no se van a enviar, sino que se realiza el envío del promedio de esas 20 muestras tomadas para cada variable (humedad, temperatura y luz). Para los tres elementos se va a hacer el proceso de pruning a través del promedio. Hay otros sensores que lo que hacen es coger una muestra aleatoria de esas 20 muestras y la envían, entonces fue un dato aleatorio. La otra opción es, mirar de los datos si alguna muestra tiene errores, se descartan las que tiene errores y envían solamente la buena o de pronto se manda la moda (la que más se repite), porque no siempre el promedio puede ser la respuesta, eso depende del sensor.

Este proceso se realiza en el microcontrolador y para el proyecto se va a realizar a través del promedio. Ahora se explicará el código que se elaboró para realizar el proceso de pruning en el proyecto.

En este código se realizó la unión de los dos códigos mostrados anteriormente y se le añadió la parte los vectores, las variables para guardar los datos y el promedio para cada una de las tres variables. Inicialmente se descargaron las librerías AP3216_WE y Adafruit_HDC1000 desde el administrador de la biblioteca Arduino. Cada una de ellas implementa todas las funciones disponibles para estos módulos. Para usar el bus I²C en Arduino, el IDE Standard proporciona la librería “Wire.h”, que contiene las funciones necesarias para controlar el hardware integrado [70].

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_HDC1000.h"
#include <AP3216_WE.h>
```

Figura 55. Importación de las librerías.

Con el fragmento de código que se muestra en la figura 56 se crea una instancia para cada sensor que se va a utilizar.

```
//Se configura una instancia de los sensores
Adafruit_HDC1000 hdc = Adafruit_HDC1000();
AP3216_WE myAP3216 = AP3216_WE();
```

Figura 56. Creación de la instancia de los sensores.

El fragmento de código que se puede observar en la figura 57 muestra la inicialización de los vectores en los cuales se guardarán los valores de las variables (humedad, temperatura y luz). Variables alas que posteriormente se les realizará el promedio.

```
double VectorTemperatura[10];
double VectorLuz[10];
double VectorHumedad[10];
```

Figura 57. Inicialización de los vectores.

En el setup se establecen las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. El comando “Serial.begin” se emplea para indicarle al programa que se va a iniciar la comunicación serial y en que frecuencia se va a realizar. Para este caso es a 9600.

```
void setup() {

    //Sensor de Humedad y Temperatura
    //Se inicializa la comunicación serial y se válida que se esté comunicando el sensor
    Serial.begin(9600);
```

Figura 58. Inicialización de la comunicación serial.

El ciclo que se muestra en la figura 59, lo que hace es que se intenta inicializar a esa función. Esta esta función devuelve Verdadero si el sensor se encontró y respondió correctamente

y Falso si no se encontró. Entonces lo que sucede es que el programa internamente manda una trama de interrogación al sensor y este responde con una trama que tiene un acknowledge de okay. Después de estos se inicia la configuración del sensor, ocurre que se prenden los registros, se activa el sensor y se leen todos los parámetros de humedad y temperatura.

```
// se comprueba si el sensor está conectado y el Arduino lo puede encontrar
if (!hdc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find sensor!");
  while (1);
}
```

Figura 59. Se comprueba si el sensor está conectado al Arduino.

La función “Wire.begin()” inicializa la librería Wire y conecta a Arduino al bus I²C además de especificar si se conecta como maestro o esclavo. Si no se especifica la dirección, Arduino se conectará al bus como maestro, mientras que si ésta se indica lo hará como esclavo y asumiendo la dirección que se la ha proporcionado [75]. Las funciones que continúan se explican en la tabla 54.

```
//Sensor de Luz
Wire.begin();
myAP3216.init();
myAP3216.setLuxRange(RANGE_20661);
myAP3216.setPSGain(2);
myAP3216.setNumberOfLEDPulses(1);
myAP3216.setPSMeanTime(PS_MEAN_TIME_50);
myAP3216.setPSThresholds(300, 800);
myAP3216.setPSIntegrationTime(1);
myAP3216.setPSInterruptMode(INT_MODE_HYSTERESIS);
delay(1000);
}
```

Figura 60. Funciones AP3216 que fueron usadas en la implementación.

En este fragmento se inicializan las tareas encargadas de reunir la información enviada por los sensores, así como las tareas que se encargan de sacar el promedio de las variables de interés e imprimirlos en consola.

```
void loop() {

  FuncionLuz();
  FuncionTemperatura();
  FuncionHumedad();
  FuncionImprimirDatos();
  FuncionPromedio();

}
```

Figura 61. Inicialización de tareas.

Esta tarea es la encargada de reunir la información que envía el sensor de luz, el cual utiliza las siguientes funciones que fueron explicadas en la tabla 55.

```
void FuncionLuz() {  
  
    //Sensor de Luz  
    //Inicializa las variables que toma el sensor  
    float als = myAP3216.getAmbientLight();  
    unsigned int prox = myAP3216.getProximity();  
    unsigned int ir = myAP3216.getIRData(); // Ambient IR light  
    bool isNear = myAP3216.objectIsNear();  
    bool irIsValid = !myAP3216.irDataIsOverflowed();  
}
```

Figura 62. Configuración de las funciones del sensor.

El ciclo que se muestra en la figura 21 es el encargado de llenar el vector que guardo los datos del sensor de luz.

```
//Se llena el vector con los datos del sensor de luz  
for(int i=0; i<10; i++){  
    VectorLuz[i]=als;  
    delay(500);  
}
```

Figura 63. Ciclo que llena el vector con los datos del sensor de luz.

El ciclo que se muestra en la figura 64 es el encargado de llenar el vector que guardo los datos del sensor de temperatura.

```
void FuncionTemperatura() {  
  
    //Sensor de Temperatura  
  
    //Se llena el vector con los datos del sensor de temperatura  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        VectorTemperatura[i]=hdc.readTemperature();  
        delay(500);  
    }  
}
```

Figura 64. Ciclo que llena el vector con los datos del sensor de temperatura.

El ciclo que se muestra en la figura 65 es el encargado de llenar el vector que guardo los datos del sensor de humedad.

```
void FuncionHumedad() {  
  
    //Sensor de Humedad  
  
    //Se llena el vector con los datos del sensor de humedad  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        VectorHumedad[i]=hdc.readHumidity();  
        delay(500);  
    }  
  
}
```

Figura 65. Ciclo que llena el vector con los datos del sensor de humedad.

Este fragmento de código es el encargado de calcular el promedio de los datos recopilados por cada sensor, para esto se inicializan las variables (sumaLuz, sumaTem y sumaHum). En estas variables se guardarán los valores de la suma de 10 registros de cada uno de los sensores mediante un ciclo "for" el cual va sumando cada uno de los registros que se reciben de los sensores para después este dato dividirlo entre 10 y enviarlo a la función encargada de crear la trama que se envía al servidor.

```
void FuncionPromedio() {  
    double sumaLuz =0;  
    double sumaTemp =0;  
    double sumaHume =0;  
  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        sumaLuz += VectorLuz[i];  
    }  
  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        sumaTemp += VectorTemperatura[i];  
    }  
  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        sumaHume += VectorHumedad[i];  
    }  
    Serial.print("El promedio de la luz es: "); Serial.print(sumaLuz/10);  
    Serial.print("\t\tEl promedio de la Temp es: "); Serial.print(sumaTemp/10);  
    Serial.print("\tEl promedio de la Hume es: "); Serial.println(sumaHume/10);  
}
```

Figura 66. Fragmento de código encargado de calcular el promedio de los datos de las tres variables.

5.3 Bundling

Este proceso es el paso final por realizar, es aquí donde se realiza el envío de la trama que fue diseñada a la nube. Dicha trama está constituida de un identificador (id), segundo va a tener una cabecera que identifique el sensor (por ejemplo, la serie del sensor y por quien fue construido). Después se envían los datos de humedad, temperatura y luz del mismo sensor a la nube, el siguiente paso sería codificar la firma digital del sensor y otro paquete que saque la corrección de errores (FEC) para que se pueda detectar si los datos llegaron correctamente y todo ello se puede enviar de manera encriptada o cifrada. Para que una persona que coja este dato por internet no tenga ni idea de lo que contiene, entonces con ello le damos privacidad a la información.

La construcción de la firma sería para darle no repudio al dato e integridad desde el corrector de errores para que los datos no lleguen malos y darles privacidad de cifrarla información para que nadie la pueda leer. Y eso se manda a internet. Una vez se tenga listo lo mencionado anteriormente se manda a una máquina virtual que va a ser una EC2 que se va a crear en internet.

El siguiente fragmento de código es el encargado de concatenar los datos captados por los sensores en una sola cadena de texto, con la cual se llevarán los datos hasta el servidor. Este proceso se hace inicializando una variable tipo string (texto) llamada "PostData". En esta variable se almacenarán los datos "id", "temperatura", "humedad" y "luz".

```
void FuncionArmarTrama() {  
  
    String PostData = "";  
    Serial.println("datos para enviar");  
    PostData = String("id="+String(id)+"; temperatura="+String(PromTemp)+";  
        humedad="+String(PromHume)+"; luz="+String(PromLuz));  
    Serial.println(PostData);  
}
```

Figura 67. Código que realiza función de armar la trama.

Este fragmento de código es el encargado de recibir la información que envía el microcontrolador y la almacena en la variable "value". Luego con la ayuda de una variable temporal "a" y la función de Python "str" se logra convertir los datos de tipo numérico a tipo texto. Después con la función ".split" se logra dividir la cadena de datos que se recibe del microcontrolador.

Para continuar se crea una variable "con", la cual establecerá la conexión con la base de datos. Después se crea un objeto tipo conexión "cur"; para después poder ingresar a la base de datos cada uno de estos campos con la función ".execute" y el comando "INSERT INTO data VALUES".

Una vez ingresado los datos en la base de datos se cierra la conexión con la función ".close"

```

@server.route('/sensor_send_data', methods=['POST'])
def sensor_send():
    values = request.data
    print(values)
    a=str(request.values.get('id'))
    print(a.split(";")[0])
    print(a.split(";")[1].split("=")[1])
    print(a.split(";")[2].split("=")[1])
    print(a.split(";")[3].split("=")[1])
    con = sqlite3.connect(db_Data)
    cur = con.cursor()
    cur.execute("INSERT INTO data VALUES(" + a.split(";")[0] + "," + "datetime('now');" + a.split(";")[1].split("=")[1]
+ "," + a.split(";")[3].split("=")[1] + "," + a.split(";")[2].split("=")[1] + ")")
    con.commit()
    con.close()
    return "ok",201

```

Figura 68. Fragmento de código es el encargado de recibir la información que envía el microcontrolador.

El siguiente fragmento de código es el encargado de realizar gráficas de los datos utilizando los framework Flask y Dash. Para esto primero se inicializa una variable “db_Data” con la ubicación de la base de datos, luego se inicializan 5 vectores (sensorID, sensorTime, sensorTemp, sensorHum y sensorLuz) en los cuales se guardarán los datos de cada uno de los sensores. Después de esto se crean las variables “con” la cual será la responsable de la conexión con la base de datos, luego se crea la función “curs” la cual gracias al método “.cursor” y “.execute” podrá realizar consultas a la base de datos.

Seguido a esto en el ciclo for se consultan los registros de la base de datos y se guarda cada campo en su vector correspondiente, seguido a esto se cierra la conexión con la base de datos, después se crean las siguientes variables (Temperatura, Humedad, Luz y ID) en las cuales se almacenarán los datos registrados en los vectores mencionados anteriormente. Una vez finalizado esto se inicializa la función “server” la cual tendrá la información de la aplicación del framework Flask y dentro de esta se creará una nueva variable llamada “app” la cual tendrá toda la información del framework Dash.

```

db_Data = './Data.db'

sensorID = []
sensorTime = []
sensorTemp = []
sensorHum = []
sensorLuz = []
con = sqlite3.connect(db_Data)
curs = con.cursor()
for fila in curs.execute("SELECT * FROM data"):
    sensorID.append(fila[0])
    sensorTime.append(fila[1])
    sensorTemp.append(fila[2])
    sensorHum.append(fila[3])
    sensorLuz.append(fila[4])
con.close()
leyenda = 'Variables del cultivo'
Temperatura = sensorTemp
Humedad = sensorHum
Luz = sensorLuz
ID = sensorID

server = Flask(__name__)
app = dash.Dash(
    __name__,
    server=server
)

```

Figura 69. Fragmento de código encargado de realizar gráficas de los datos.

Después de esto con el atributo “.layout” del Dash generamos segmentos de código html en los cuales se crearán las gráficas de los datos que se han recolectado. Para esto se crean divisiones con la etiqueta “Div” del componente “html” del Dash, dentro de estas divisiones creamos títulos con la etiqueta “H1” y después con la etiqueta “dcc.Graph” se genera el grafico deseado asignándole un id y en el campo “figure” se ingresan los valores del eje x y del eje y en este caso los valores en x es el id del sensor y en y estarán los datos de cada uno de los sensores, después de esto se les asigna un título a cada gráfico y se cierra el atributo “.layout”


```

app.layout = html.Div(children=[
    html.H1(children = 'Grafica Temperatura'),
    dcc.Graph(id='example',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Temperatura, 'type': 'line', 'name': 'Temperatura'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    ),
    html.H1(children = 'Grafica Humedad'),
    dcc.Graph(id='example2',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Humedad, 'type': 'line', 'name': 'Humedad'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    ),
    html.H1(children = 'Grafica Luz'),
    dcc.Graph(id='example3',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Luz, 'type': 'line', 'name': 'Luz'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    )
])

```

Figura 70. Segmento de código que crea las gráficas.

Y para que los códigos anteriores funciones primero se debe ejecutar la siguiente función la cual se encarga de llamar la app tipo Dash la cual es la responsable de graficar.

```

@server.route("/visualizacion")
def captura():
    return server.app

```

Figura 71. Ejecución de la función que llama app.

En esta sección se explicará el proceso que necesario para la construcción de la trama, pero antes introduciremos brevemente que es el formato JSON, ya que es en este formato que se va a construir el paquete de datos del sensor.

JSON (acrónimo de JavaScript Object Notation, «notación de objeto de JavaScript») es un formato de texto ligero para el intercambio de datos. JSON es un subconjunto de la notación literal de objetos de JavaScript, aunque hoy, debido a su amplia adopción como alternativa a XML, se considera un formato de lenguaje independiente [77]. JSON es un formato de texto que es completamente independiente del lenguaje, pero utiliza convenciones que son ampliamente conocidos por los programadores de la familia de lenguajes C, incluyendo C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python, y muchos otros.

JSON está constituido por dos estructuras:

1. Una colección de pares de nombre/valor. En varios lenguajes esto es conocido como un objeto, registro, estructura, diccionario, tabla hash, lista de claves o un arreglo asociativo.
2. Una lista ordenada de valores. En la mayoría de los lenguajes, esto se implementa como arreglos, vectores, listas o secuencias.

Estas son estructuras universales; virtualmente todos los lenguajes de programación las soportan de una forma u otra. Es razonable que un formato de intercambio de datos que es independiente del lenguaje de programación se base en estas estructuras [77].

Protocolo de Transferencia de datos

Ahora se introducirán dos protocolos comúnmente utilizados en el ámbito de IoT. Se presentarán puntos clave a considerar para la elección e implementación en este proyecto.

Los protocolos que son más utilizados para IoT son HTTP y MQTT, cada uno posee diferentes características, ventajas y desventajas. Ambos protocolos están disponibles para su uso mediante librerías en todos los lenguajes que se utilizan para el desarrollo de dispositivos IoT.

A. Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor basado en publicaciones y subscripciones a los denominados “tópicos”. Cada vez que un mensaje es publicado será recibido por el resto de dispositivos adheridos a un tópico del protocolo. Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se “reutiliza” en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión [78].

La arquitectura de MQTT sigue una topología de estrella, con un nodo central que hace de servidor o “broker”. El broker es el encargado de gestionar la red y de transmitir los mensajes, para mantener activo el canal, los clientes mandan periódicamente un paquete (PINGREQ) y esperan la respuesta del broker (PINGRESP). La comunicación puede ser cifrada entre otras muchas opciones. En esta forma de comunicación se desacoplan los clientes que publican (Publisher) de los que consumen los datos (Suscribers). Eso significa que los clientes no se conocen entre ellos unos publican la información y otros simplemente la consumen, simplemente todos tienen que conocer al message bróker [78].

El desacoplamiento se produce en tres dimensiones:

1. En el espacio: El publicador y el suscriptor no tienen por qué conocerse.
2. En el tiempo: El publicador y el suscriptor no tienen por qué estar conectados en el mismo momento.
3. En la sincronización: las operaciones en cualquiera de los dos componentes no quedan interrumpidas mientras se publican o se reciben mensajes.

Es precisamente el broker el elemento encargado de gestionar la red y transmitir los mensajes.

Dentro de la arquitectura de MQTT, es muy importante el concepto “topic” o “tema” en español ya que a través de estos “topics” se articula la comunicación puesto que emisores y receptores deben estar suscritos a un “topic” común para poder entablar la comunicación. Este concepto es prácticamente el mismo que se emplea en colas, donde existen un publicadore (que publican o emiten información) y unos suscriptores (que reciben dicha información) siempre que ambas partes estén suscritas a la misma cola. Este tipo de arquitecturas lleva asociada otra interesante característica: la comunicación puede ser de uno a uno o de uno a muchos [78].

¿Cómo funciona MQTT?

Una sesión MQTT se divide en cuatro etapas: conexión, autenticación, comunicación y terminación. Un cliente comienza creando una conexión de Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP) con el broker utilizando un puerto estándar o un puerto personalizado definido por los operadores del broker. Al crear la conexión, es importante reconocer que el servidor puede continuar una sesión antigua si se le proporciona una identidad de cliente reutilizada [79].

Los puertos estándar son 1883 para la comunicación no cifrada y 8883 para la comunicación cifrada usando Secure Sockets Layer (SSL)/Transport Layer Security (TLS). Durante la conexión SSL/TLS, el cliente valida el certificado del servidor y autentica el servidor. El cliente también puede proporcionar un certificado de cliente al agente durante el apretón de manos. El agente puede utilizarlo para autenticar al cliente [79].

B. Protocolo HTTP

El Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) es un protocolo a nivel de aplicación para sistemas de información hipermedia distribuidos y colaborativos. Esta es la base para la comunicación de datos para la World Wide Web (es decir, Internet) desde 1990. HTTP es un protocolo genérico y sin estado que se puede utilizar para otros fines, además de utilizar extensiones de sus métodos de solicitud, códigos de error y encabezados.

Básicamente, HTTP es un protocolo de comunicación basado en TCP / IP que se utiliza para entregar datos (archivos HTML, archivos de imagen, resultados de consultas, etc.) en la World Wide Web. El puerto predeterminado es TCP 80, pero también se pueden usar otros puertos. Proporciona una forma estandarizada para que las computadoras se comuniquen entre sí. La especificación HTTP especifica cómo se construirán y enviarán los datos de solicitud de los clientes al servidor, y cómo los servidores responderán a estas solicitudes [80].

Características básicas

Hay tres características básicas que hacen de HTTP un protocolo simple pero poderoso:

1. HTTP no tiene conexión: el cliente HTTP, es decir, un navegador inicia una solicitud HTTP y después de que se realiza una solicitud, el cliente espera la respuesta. El servidor procesa la solicitud y envía una respuesta, después de lo cual el cliente desconecta la conexión. Por lo tanto, el cliente y el servidor se conocen entre sí solo durante la solicitud y la respuesta actuales. Se realizan más solicitudes en la nueva conexión, ya que el cliente y el servidor son nuevos entre sí.
2. HTTP es independiente de los medios: es decir, cualquier tipo de datos puede ser enviado por HTTP siempre que tanto el cliente como el servidor sepan cómo manejar el contenido de los datos. Es necesario que el cliente y el servidor especifiquen el tipo de contenido utilizando el tipo MIME apropiado.
3. HTTP no tiene estado: como se mencionó anteriormente, HTTP no tiene conexión y es un resultado directo de que HTTP es un protocolo sin estado. El servidor y el cliente se conocen entre sí solo durante una solicitud actual. Después, ambos se olvidan el uno del otro. Debido a esta naturaleza del protocolo, ni el cliente ni el navegador pueden retener información entre diferentes solicitudes en las páginas web [80].

El protocolo HTTP es un protocolo de solicitud / respuesta basado en la arquitectura basada en cliente / servidor donde los navegadores web, robots y motores de búsqueda, etc. actúan como clientes HTTP y el servidor web actúa como servidor [80].

Cliente

El cliente HTTP envía una solicitud al servidor en forma de método de solicitud, URI y versión de protocolo, seguida de un mensaje similar a MIME que contiene modificadores de solicitud, información del cliente y posible contenido del cuerpo a través de una conexión TCP / IP [80].

Servidor

El servidor HTTP responde con una línea de estado, que incluye la versión del protocolo del mensaje y un código de éxito o error, seguido de un mensaje similar a MIME que contiene información del servidor, metainformación de la entidad y posible contenido del cuerpo de la entidad [80].

Después de analizar las diferentes características que ofrecen cada uno de los protocolos presentados para mantener un óptimo funcionamiento del sistema, así como sus ventajas y desventajas, se optó por usar el protocolo HTTP ya que:

1. HTTP es el protocolo más utilizado para envío de información en la World Wide Web.

2. Una de las ventajas de utilizar HTTP es su capacidad para enviar o recibir grandes cantidades de datos de manera eficiente, mientras que para enviar pequeños mensajes es mejor MQTT.
3. HTTP puede ser eficaz para los usos de respuesta de sondeo que implican conectar una aplicación a un dispositivo, como un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que sondea una computadora de flujo para obtener datos de velocidad de flujo.
4. Además de la flexibilidad que proporciona HTTP, este protocolo proporciona un transporte, pero no define la presentación de los datos. Como tal, las solicitudes HTTP pueden contener HTML, JavaScript, JavaScript Object Notation (JSON), XML, etc. En la mayoría de los casos, IoT está estandarizando alrededor de JSON a través de HTTP. JSON es similar a XML, sin toda la sobrecarga y validación de esquema, lo que lo hace más liviano y flexible.
5. HTTP es útil en gateways para transferir toda la información de una sola vez, en lugar de enviar muchos mensajes [80].

C. Protocolo HTTPS

El protocolo de transferencia de hipertexto seguro (HTTPS) es la versión segura de HTTP que es el protocolo principal que se utiliza para enviar datos entre un navegador web y un sitio web. HTTPS está encriptado para aumentar la seguridad de la transferencia de datos. Esto es particularmente importante cuando los usuarios transmiten datos confidenciales [81].

¿Cómo funciona HTTPS?

HTTPS utiliza un protocolo de cifrado para cifrar las comunicaciones. El protocolo se llama Transport Layer Security (TLS), aunque anteriormente se conocía como Secure Sockets Layer (SSL). Este protocolo protege las comunicaciones mediante lo que se conoce como una infraestructura de clave pública asimétrica. Este tipo de sistema de seguridad utiliza dos claves diferentes para cifrar las comunicaciones entre dos partes:

La clave privada: esta clave está controlada por el propietario de un sitio web y se mantiene, como el lector puede haber especulado, privada. Esta clave vive en un servidor web y se utiliza para descifrar información cifrada por la clave pública.

La clave pública: esta clave está disponible para todos los que quieran interactuar con el servidor de forma segura. La información que está encriptada por la clave pública solo puede ser descifrada por la clave privada [81].

¿Por qué es importante HTTPS? ¿Qué sucede si un sitio web no tiene HTTPS?

HTTPS evita que los sitios web transmitan su información de manera que cualquiera que esté fisgoneando en la red pueda verla fácilmente. Cuando la información se envía a través de HTTP regular, la información se divide en paquetes de datos que se pueden "rastrear" fácilmente mediante software gratuito. Esto hace que la comunicación a través de un medio inseguro, como el Wi-Fi público, sea altamente vulnerable a la interceptación. De hecho,

todas las comunicaciones que se producen a través de HTTP se producen en texto sin formato, lo que las hace muy accesibles para cualquier persona con las herramientas adecuadas y vulnerables a los ataques en ruta [81].

CAPÍTULO 6

Modelo de toma de decisiones

El un proceso de adaptación, transformación y carga que se realiza cuando se toman los datos que vienen de la base de datos, luego estos se transforman y son procesados para que queden en un modelo de toma de decisiones. Este modelo de toma de decisiones y visualización se base en un modelo de reglas. Estas reglas son las que definen el proceso de desarrollo del cultivo.

Gracias a la visualización de la información se va a poder realizar la toma decisiones que va a permitir realizar acciones para llevar a cabo el cultivo de la planta hasta su recolección. Para ello se va a construir una máquina de estados o una forma que pueda informar cómo está creciendo la planta y que tipo de estadísticas está arrojando y con ello se determinará cuando la planta está lista para cultivarse o cuanto es el momento en que se le tiene que poner de luz, agregar abono o agua.

Este modelo de toma de decisiones se basa en un modelo de reglas de dos tipos:

6.1 Las reglas instantáneas

Estas reglas se dan cuando se están midiendo la información de los sensores casi en tiempo real. Estas reglas son las acciones y recomendaciones inmediatas que requiere el cultivo. A continuación, se muestra el pseudocódigo de algunas reglas instantáneas y cuál sería el tipo de alerta que se notificaría.

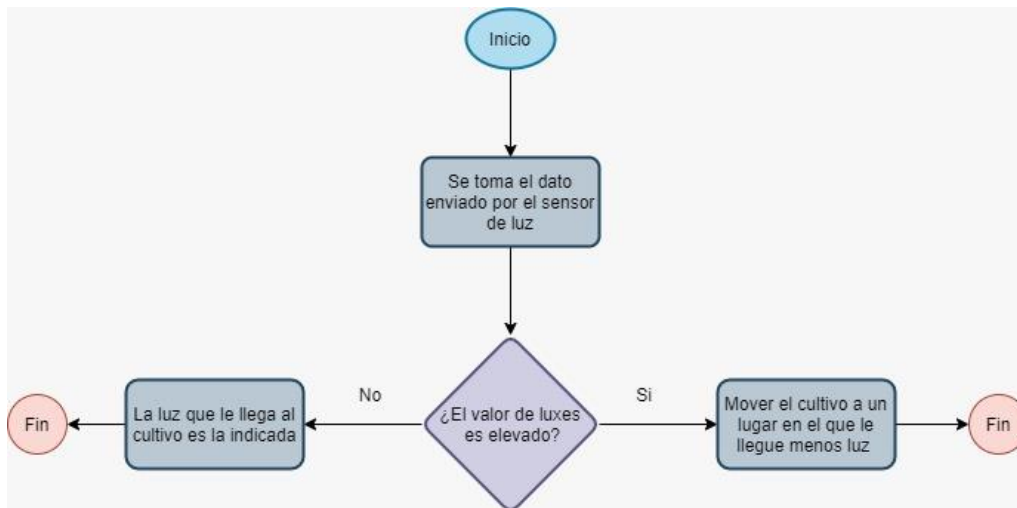


Figura 72. Pseudocódigo de una regla instantánea.

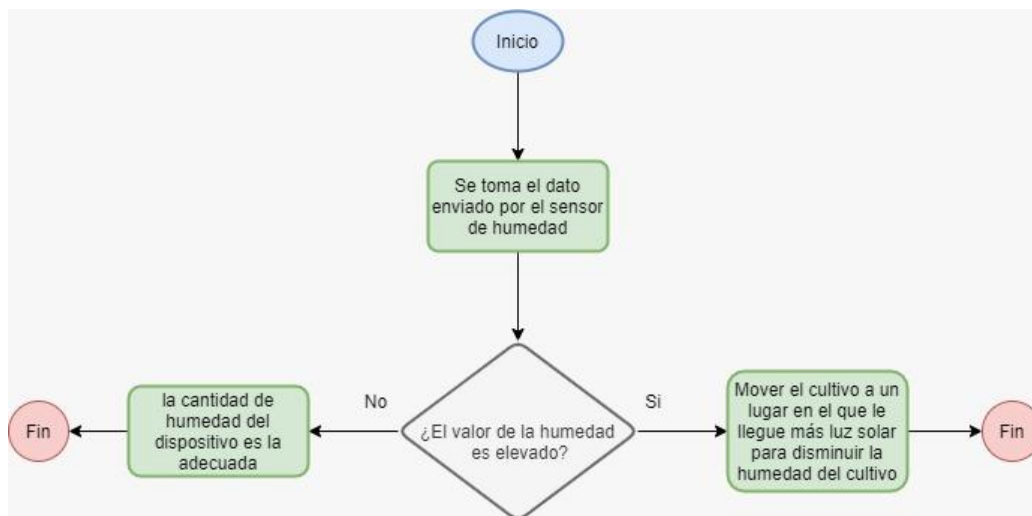


Figura 73. Pseudocódigo de una regla instantánea.

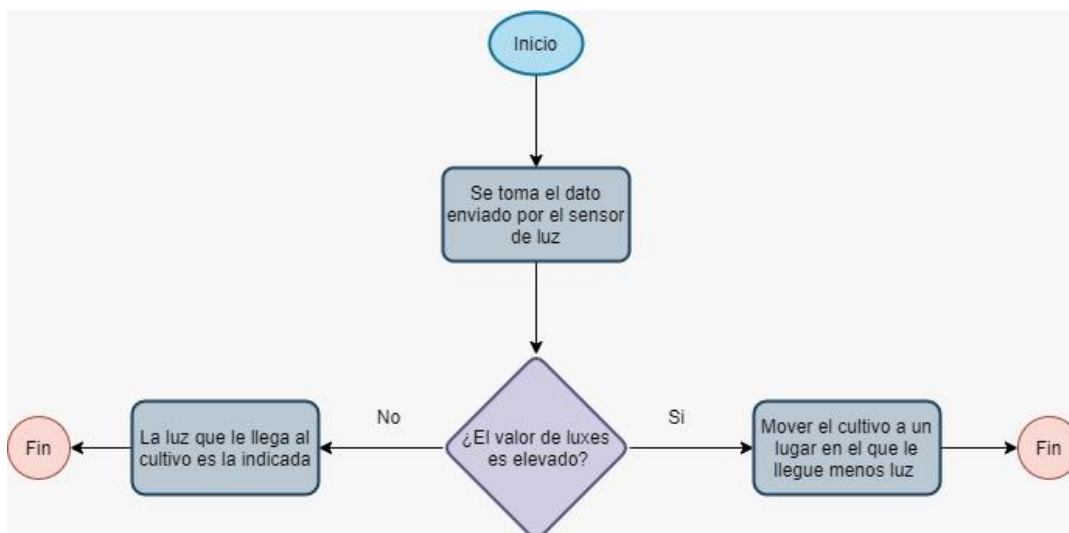


Figura 73. Pseudocódigo de una regla instantánea.

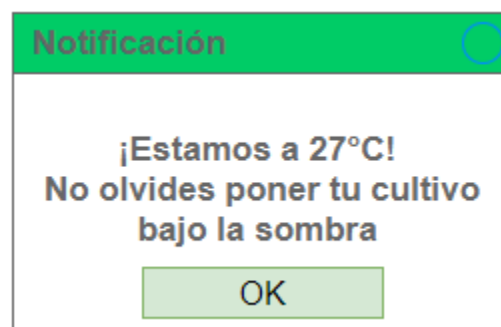


Figura 74. Ejemplo de alerta generada por una regla instantánea.

6.2 Las reglas históricas

Son todas aquellas reglas que necesitan utilizar todo el histórico de datos para construir acciones o recomendaciones. Estas reglas marcan los hitos más importantes en el proceso del cultivo tales como la fecha de inicio de sembrado, la etapa en que se encuentra la planta o la fecha de cosecha para el cultivo. A continuación, se muestra el pseudocódigo de algunas reglas historias y cuál sería el tipo de alerta que se notificaría.

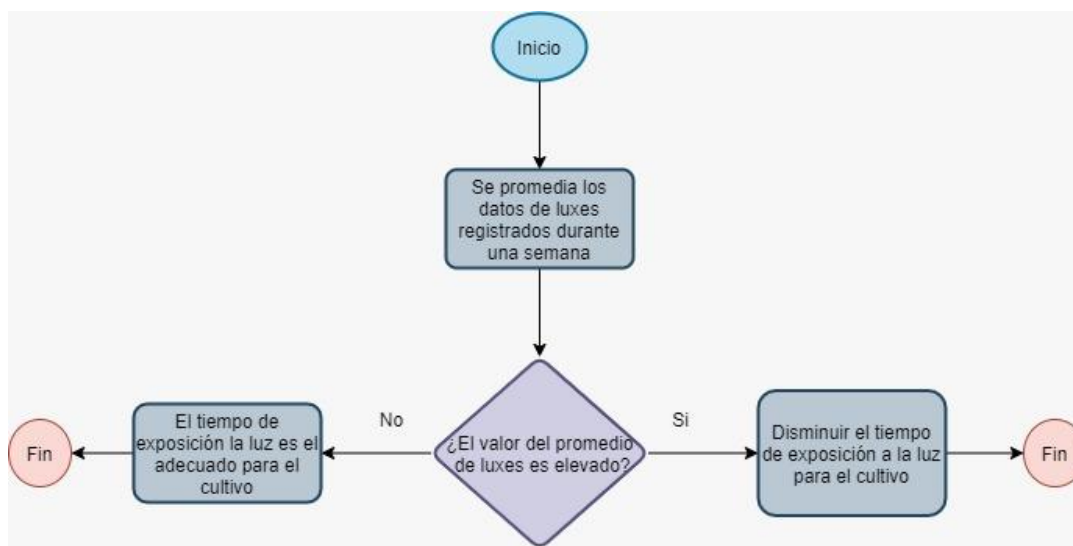


Figura 75. Pseudocódigo de una regla histórica.

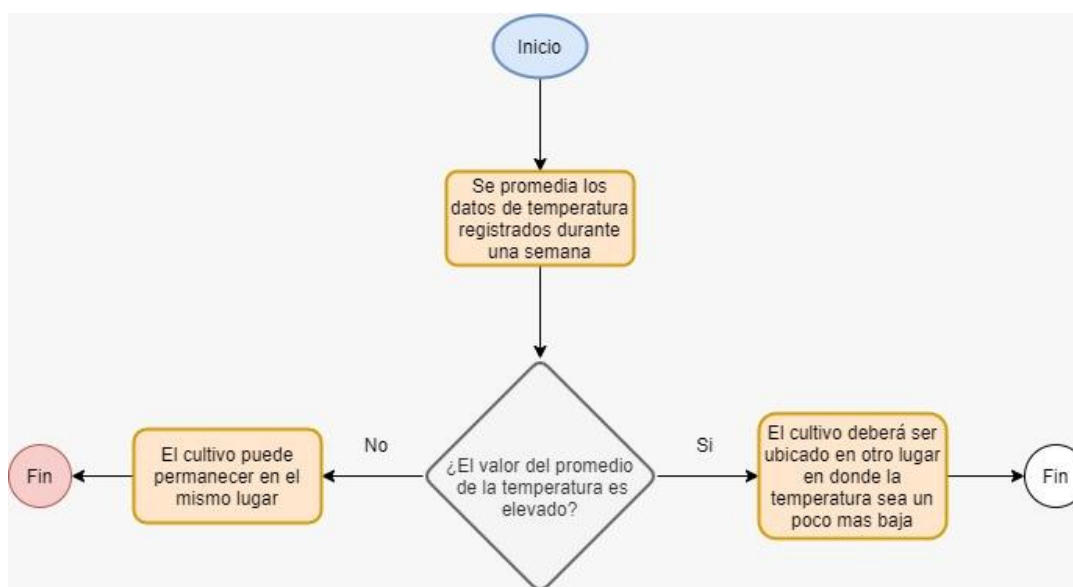


Figura 76. Pseudocódigo de una regla histórica.

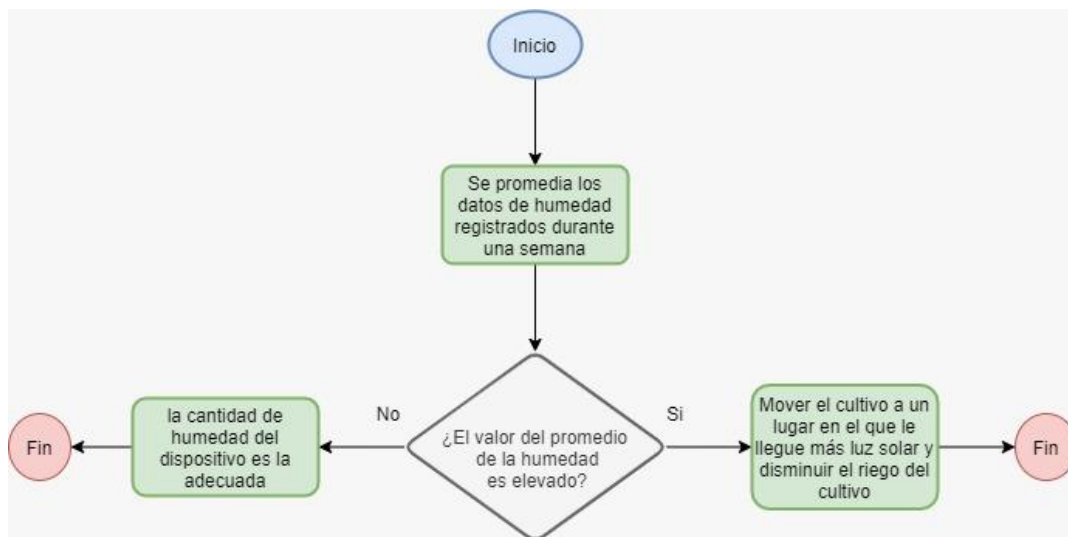


Figura 77. Pseudocódigo de una regla histórica.

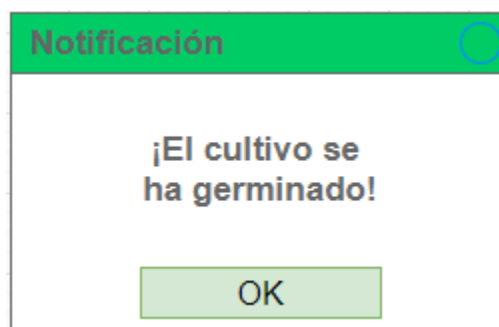


Figura 78. Ejemplo de alerta generada por una regla histórica.

CAPÍTULO 7

Metodología

Dando solución a los objetivos que se plantearon al inicialmente para de este proyecto, se presenta como resultado la metodología que fue desarrollada, diseñada, implementada y analizada a lo largo de este proyecto. Esta metodología es un conjunto de fases que ayudaron a la estructuración y gestión del proyecto, buscando realizar mejores prácticas para optimizar los procesos y utilizar los recursos de manera eficientemente. Esto reduce también la probabilidad de sobrepasar el coste y el tiempo. En la figura 79 se puede observar el curso que se debe seguir con la metodología para poder llevar al proyecto desde el punto de partida y hasta su finalización.

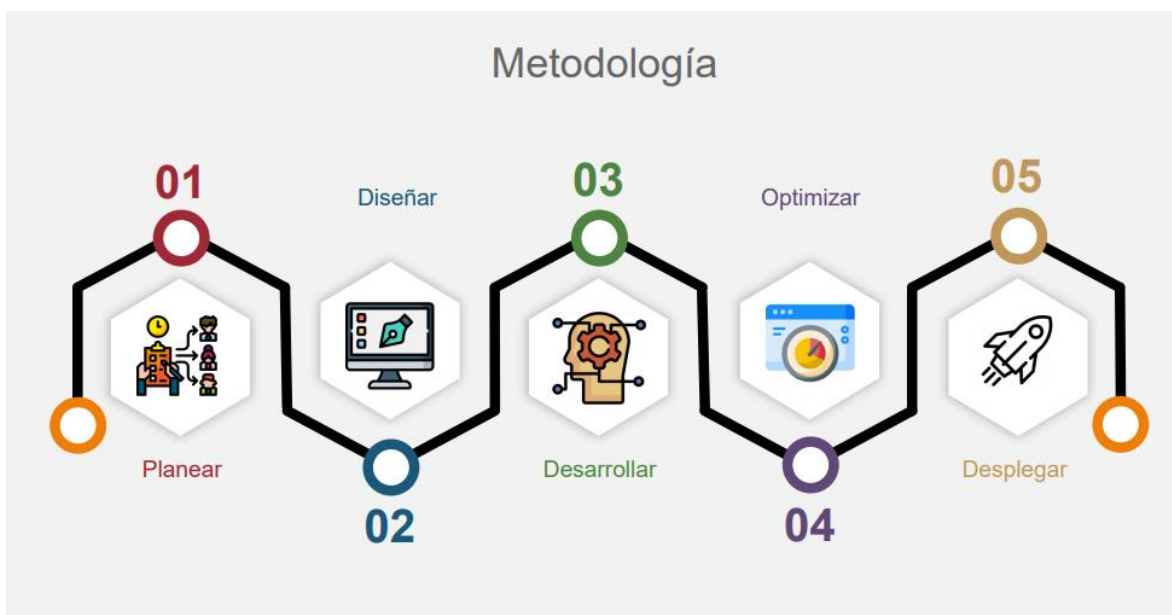


Figura 79. Metodología desarrollada.

Se pudieron concretar 5 fases que componen esta metodología:

7.1 Planear

Esta fase se enfoca en el conocimiento sobre el entorno del proyecto y la toma de decisiones para el futuro deseado del mismo. En esta fase se tendrá en cuenta la situación actual, los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los objetivos. Va de lo más simple a lo complejo, dependiendo del medio a aplicarse.

Para este caso se realizó:

- La investigación y documentación necesaria sobre los distintos dispositivos tanto comerciales como de estudio.
 - Documentación sobre los posibles cultivos que se podrían desarrollar en un determinado ambiente.
 - Realizar la búsqueda de un experto para que sirva de guía en el proceso de aprendizaje en la producción de un cultivo.
 - Realizar el aprendizaje de cómo se realiza el proceso de producción de un cultivo desde el inicio hasta el proceso de cosecha.
- Buscar e identificar los insumos necesarios para realizar el despliegue del dispositivo en una infraestructura de internet de las cosas y hacer el cultivo replicable.

7.2 Diseñar

Fase en la cual se logra tener una mejor visualización de las ideas que buscan dar solución a un determinado problema o proyecto. Esta fase involucra una perspectiva en varias dimensiones que van más allá del aspecto, la forma y el color, sino que, abarcan también la función de un objeto y su interacción con el usuario. Durante el proceso no se debe perder el enfoque en temas de funcionalidad, la operatividad, la eficiencia y la vida útil del objeto del diseño.

Para este caso se realizó:

- Se utilizaron herramientas de CAD que permitieron crear, modificar, analizar y optimizar los planos para el diseño del dispositivo.
- El uso de impresoras 3D permitió materialización de algunos elementos del diseño del dispositivo.
- El uso de dispositivos de internet de las cosas y electrónica básica permitió el desarrollo del cuerpo electrónico necesario para el proyecto.

7.3 Desarrollar

Es en esta fase donde se aplican todos los conocimientos adquiridos en la fase número uno y se materializan las ideas que fueron diseñadas en la fase número dos. En esta fase también se realiza la identificación y documentación de problemas que ocurren en el transcurso de esta fase.

Para este caso se realizó:

- Se implementaron los desarrollos, y fue en esta fase donde se descubrieron cuál era el camino a seguir para el correcto desarrollo del dispositivo.
- Identificación y documentación de problemas.
- Estructuración de ideas para la solución a los problemas encontrados.

7.4 Optimizar

Esta fase se realiza la corrección de los componentes de las fases anteriores. Estos serán revisados de forma periódica, actualizados y cambiados cuando sea necesario, para ello se presentan las mejoras necesarias para seguir con el proceso del proyecto de manera satisfactoria. Esta iteración, se asegura de madurar de la corrección temprana de errores.

Para este caso se realizó:

- Tomamos decisiones sobre el diseño.
- Corrección sobre procedimientos que según la fase de diseño se podían realizar de una manera más eficiente.
- Cambios sobre procesos que no se podían realizar de la manera que inicialmente se habían pensado.

7.5 Desplegar

Es la ejecución de lo que se desarrolló; se pone a prueba el dispositivo y el cumplimiento con los requerimientos planteados inicialmente. En esta fase se tienen listos los desarrollos y su respectiva documentación, estos documentos son publicados y se dejan libres para las personas que van a tener acceso a esa tecnología.

Implementación

En esta sección muestra una colección fotos sobre la implementación del proyecto.

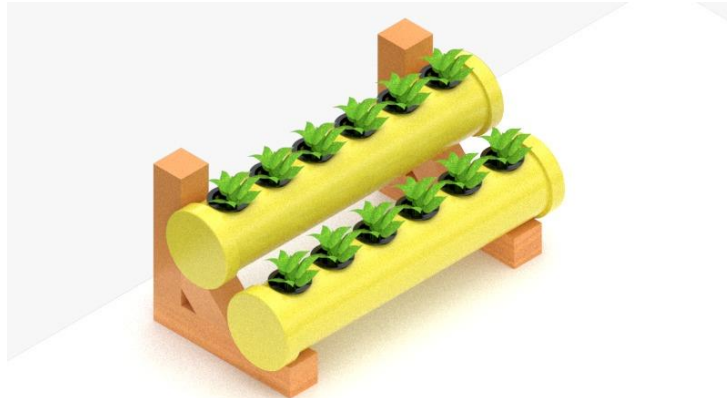


Figura 80. Representación del diseño final.

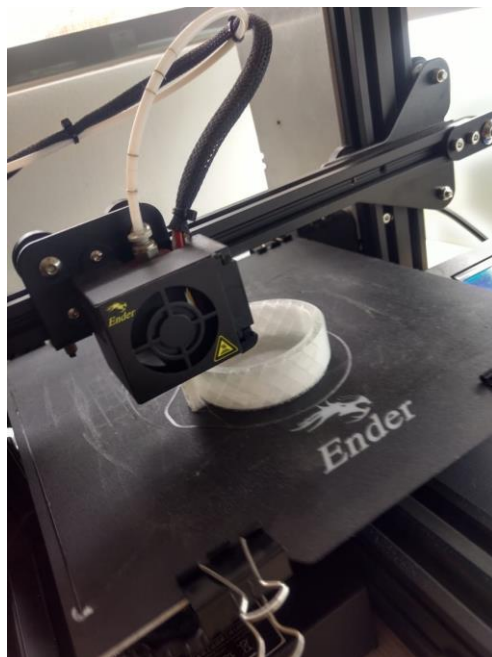


Figura 81. Construcción de la cesta de plantación.



Figura 82. Proceso de construcción de la cesta de plantación.



Figura 83. Cesta de plantación terminada.



Figura 84. Proceso de integración entre la cesta de plantación y el contenedor de agua.



Figura 85. Proceso de germinación de la semilla.



Figura 86. Adecuación de los sensores.



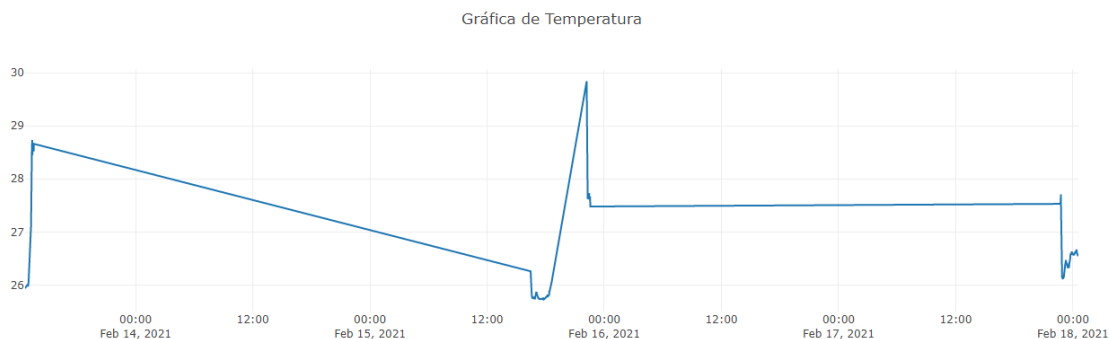
Figura 87. Adecuación de los sensores al cultivo.



Figura 88. Cultivo de cilantro en crecimiento.

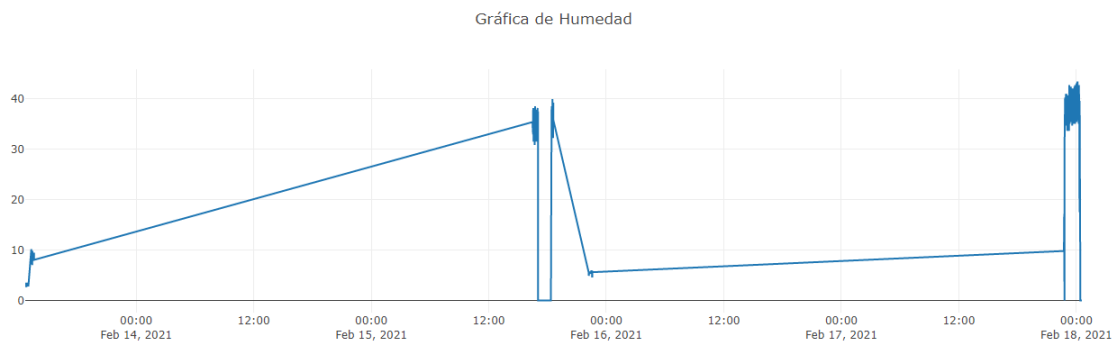
A continuación, se presentan tres ejemplos de gráficas de prueba de la plataforma de bajo costo que muestran que si se puede graficar fácilmente el prototipo implementado. Las gráficas muestran algunos picos en ciertas fechas debido a que como se encuentra en una fase de prototipo no se tienen continuas todas las mediciones. En ese momento se estaban realizando pruebas sobre el servidor y se descubrió que se podía graficar correctamente. A modo de anotación, cabe resaltar que estas gráficas no son el resultado final del proceso de visualización.

Históricos de datos de Temperatura



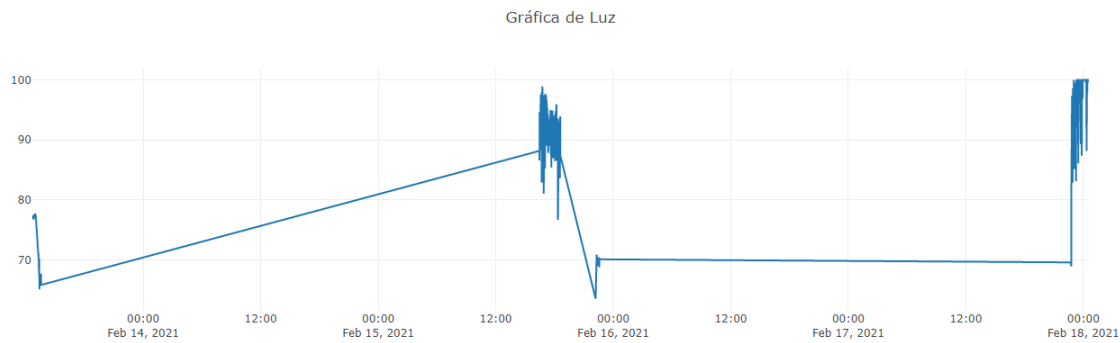
Gráfica 10. Gráfica de prueba de los datos del sensor de Temperatura.

Histórico de datos de Humedad



Gráfica 11. Gráfica de prueba de los datos del sensor de Humedad.

Histórico de datos de Luz



Gráfica 12. Gráfica de prueba de los datos del sensor de Luz.

CONCLUSIONES

Se propone una metodología con las fases de planeación, diseño, desarrollo, optimización y despliegue. Esta metodología tiene la ventaja de que se ajusta a las soluciones dependiendo de la comunidad que debe desarrollar una solución acorde a su presupuesto, lugar, capacidades logísticas, y se personaliza para que sea la más apropiada y viable económicamente.

La metodología propuesta da solución a los objetivos planteados al inicio del proyecto, pero solo se dará cuenta de su desempeño cuando la población a la que va dirigido este servicio lo implemente en un proyecto real o se logre exitosamente reproducir el proyecto en una convocatoria que se esté ejecutando. En este momento en el grupo GIDATIC de la UPB todavía no hay proyectos en ejecución que vayan a utilizar esta metodología.

El diseño propuesto es escalable económicamente, se puede replicar con facilidad y bajo costo, tiene la posibilidad de hacer desarrollos con hardware a bajo costo y las puede utilizar el grupo de investigación para implementar tanto en hogares, como en empresas, así como en comunidades de difícil acceso o situaciones económicas complejas, adaptando los elementos de la metodología de planeación y diseño.

El diseño propuesto además de disminuir costos, ayudar en gran medida a la industria agrícola en la toma de decisiones para así poder garantizar la seguridad alimentaria. También se logra brindar ayuda a las personas que se están iniciando en el mundo de la agricultura in house y a los expertos también a tener un mayor control de su cultivo, y así poder tener cosechas sanas y aptas para el consumo es otro de los aportes que se logra con este proyecto.

Se realizó un estado del arte de las iniciativas similares y se logró identificar los factores claves de cada una de las tecnologías de estudio y comerciales de cultivos inteligentes. Con ellos se logró encontrar que la infraestructura del manejo del agua es la más eficiente, la electrónica no debe ser muy costosa, se necesita medir temperatura, humedad y radiación de luz como variables mínimas, y se puede integrar con electrónica barata que las personas pueden encontrar en los mercados de las ciudades a bajo costo (hasta 80mil pesos por la electrónica).

Se hizo un análisis de la rentabilidad de los modelos, y se encontró que los modelos que usan poca agua, recirculación de la misma y en formatos escalables espacialmente (verticales u horizontales) son técnicas que tienen los retornos económicos de la inversión a en menor tiempo y a mayor volumen.

Los desarrollos de backend se pueden desarrollar en un framework usando solo un lenguaje de programación (Python) y que permite prototipar soluciones comerciales escalables listas para producción en intervalos de 12 semanas con un mínimo personal de trabajo y desarrollo.

En un trabajo futuro se plantea llevar a cabo el monitoreo del cultivo hidropónico a escala mediante el desarrollo de una aplicación móvil que brinde mayor comodidad e impacto en el mercado, debido a que la tecnología implementada y la solución dada al proyecto no se encuentran con bajo costo en el mercado actual.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FAO - Noticias: El hambre en el mundo lleva tres años sin disminuir y la obesidad sigue creciendo", Fao.org. [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1201670/icode/>.
- [2] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2020. Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- [3] Friedrich, Theodor (2014). La seguridad alimentaria: retos actuales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48 (4), 319-322. [Fecha de Consulta 11 de Agosto de 2020]. ISSN: 0034-7485. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930/193033033001>
- [4] Fao.org. n.d. Qué Hacemos | FAO | Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura. [online] Available at: <<http://www.fao.org/about/what-we-do/es/>>.
- [5] FAO (2015a). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Boletín, 2-31.
- [6] Schwab, K., n.d. The Fourth Industrial Revolution. [online] Luminariaz.files.wordpress.com. Available at: <https://luminariaz.files.wordpress.com/2017/11/the-fourth-industrial-revolution-2016-21.pdf>
- [7] Joyanes, L. (6 de mayo de 2020). Industria 4.0, estado del arte y futuro en el horizonte 2030.

- [8] Clúster ICT-Audiovisual de Madrid, "Internet de las cosas: Objetos interconectados y dispositivos inteligentes," 2013. [Online]. Available: <https://actualidad.madridnetwork.org/imgArticulos/Documentos/635294387380363206.pdf>.
- [9] Fundación de la Innovación Bankinter, "El Internet de las Cosas," no. 2, p. 78, 2011.
- [10] D. Evans, "Internet de las cosas Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo," Cisco Internet Bussiness Solut. Gr. - IBSG, pp. 4–11, 2011
- [11] Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). La ruta hacia las Smart Cities Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado a partir de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>
- [12] E. C. Leonard, 'Precision Agriculture', Encycl. Food Grains, vol. Vol. 4, pp. 162–167, Jan. 2016.
- [13] Fao.org. n.d. *Agricultura Urbana, ¿Alimentación Segura?* | FAO. [online] Available at: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/274824/>
- [14] F. daCosta, *Rethinking Internet Of Things*. Santa Clara, California, 2013.
- [15] "¿Qué es Cloud Computing (computación en la nube)? - IBM Colombia", Ibm.com. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/co-es/cloud/learn>.
- [16] "Cloud Computing Services | Microsoft Azure", Azure.microsoft.com. [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/>.
- [17] "Capa gratuita de AWS | Cloud computing gratis |AWS", Amazon Web Services, Inc.. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/free/?all-free-tier.sort-by=item.additionalFields.SortRank&all-free-tier.sort-order=asc>.

- [18] "Cloud Computing Services | Google Cloud", Google Cloud. [Online]. Available: <https://cloud.google.com/>.
- [19] "Servicios de Computación en la Nube - IBM Cloud Colombia", Ibm.com. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/co-es/cloud>.
- [20] OPCOM Farm Advanced Hydroponics + STEM. STATE RENEWABLE ENERGY, p. 1
- [21] Karisma.org.co. n.d. El Debate Pendiente En Colombia Sobre La Protección De Derechos De Autor En Internet. El Caso De La 'Ley Lleras'. [online] Available at: <<https://karisma.org.co/wp-content/uploads/2013/04/Paper1ElCasoLeyLleras.pdf>>.
- [22] U. Unidad de Planeación Rural Agropecuaria, 'Rendición de cuentas UPRA, Departamento del Casanare', Rendición Cuentas Minist. Agric., 2018.
- [23] P. P. Jayaraman, A. Yavari, D. Georgakopoulos, A. Morshed, and A. Zaslavsky, 'Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt', Sensors (Switzerland), vol. 16, no. 11, pp. 1–17, 2016.
- [24] En línea: AgriDigital (<https://www.agridigital.io/>)
- [25] En línea: Provenance (<https://www.provenance.org/business/platform>)
- [26] En línea: AgUnity (<https://agunity.com/>)
- [27] En línea: agricultura vertical, artículo divulgación. <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2018/08/el-futuro-de-la-alimentacion-se-llama-agricultura-vertical/>
- [28] CEPAL, FAO, & IICA. (2014). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas 2013: una mirada hacia América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica: CEPAL, FAO, IICA.

- [29] Swinnen, J., & Kuijpers, R. (2017). Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies: Conceptual issues, typology, and policy implications. *Food Policy*, 1-12.

- [30] Pagés, C. (2010). *The Age of productivity transforming Economies from the Bottom Up*. Estados Unidos: PALGRAVE MACMILLAN.

- [31] Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2011). Global Value Chains Meet Innovation Systems: Are There Learning Opportunities for Developing Countries? . *World Development* , 39 (7), 261–1269.

- [32] Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Frances Pinter Publishers.

- [33] kickstarter. n.d. *PICO: A garden in your palm. Growing is fun again!*. [online] Available at: <<https://www.kickstarter.com/projects/hrbstn/pico-a-farm-in-your-palm-growing-is-fun-again?lang=es>>.

- [34] OPCOM. n.d. *Grow Wall*. [online] Available at: <<https://www.opcomfarm.com/newproduct.php?Item=7&id=46>>.

- [35] "Amazon", Amazon.com. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/inteligentes-regadera-autom%C3%A1tica-decorativa-polipropileno/dp/B016KE4R26?th=1>.

- [36] "Amazon", Amazon.es. [Online]. Available: <https://www.amazon.es/Parrot-PF901001-Maceta-Inteligente-Color/dp/B01KV0JCNY?th=1>.

- [37] "Cultiva hasta 30 frutas y verduras en casa con este jardín hidropónico", My Modern Met. [Online]. Available: <https://mymodernmet.com/es/iharvest-jardin-hidroponico-interior/>.

- [38] "Grow BIG, Beautiful Veggies & Fruits Indoors || iHarvest", <https://www.kickstarter.com/>. [Online]. Available: https://www.kickstarter.com/projects/1654415778/iharvest?utm_source=kickbooster-direct&utm_medium=kickbooster&utm_content=link&utm_campaign=17b86a5a.

- [39] "Innovador jardín interior con riego automático te permite cultivar tus propias verduras en casa", My Modern Met. [Online]. Available: <https://mymodernmet.com/es/ogarden-jardin-interior-cultivar-en-casa/>.

- [40] "OGarden Smart: Grow An Indoor Garden of 90 Fruits & Veggies", <https://www.kickstarter.com/>. [Online]. Available: https://www.kickstarter.com/projects/ogarden/ogarden-smart?utm_source=kickbooster-direct&utm_medium=kickbooster&utm_content=link&utm_campaign=77c23db.

- [41] "Plantone: Smartest Mini Indoor Garden", [kickstarter.com](https://www.kickstarter.com/projects/plantone/plantone-smartest-mini-indoor-garden?lang=es). [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/plantone/plantone-smartest-mini-indoor-garden?lang=es>.

- [42] "CounterCrop: The Modern Way to Grow Your Own Food", [kickstarter.com](https://www.kickstarter.com/projects/548754341/countercrop-the-modern-way-to-grow-your-own-food/description). [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/548754341/countercrop-the-modern-way-to-grow-your-own-food/description>.

- [43] "Herbstation: The easiest way to grow at home.", [www.kickstarter.com](https://www.kickstarter.com/projects/hrbstn/herbstation-the-easiest-way-to-grow-at-home/description). [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/hrbstn/herbstation-the-easiest-way-to-grow-at-home/description>.

- [44] "Miracle-Gro Twelve Indoor Growing System", Miracle-Gro® Twelve™. [Online]. Available: <https://miraclegrotwelve.com/pages/twelve-indoor-growing-system>.

- [45] Amazon.com. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Miracle-Gro-Twelve-Indoor-Growing-System/dp/B07P8BHL8H?th=1>.

- [46] "Herbert – Grow fresh organic food at home", [www.kickstarter.com](https://www.kickstarter.com/projects/1706256286/herbert-grow-fresh-organic-food-at-home?utm_campaign=Button&utm_source=Website). [Online]. Available: https://www.kickstarter.com/projects/1706256286/herbert-grow-fresh-organic-food-at-home?utm_campaign=Button&utm_source=Website.

- [47] H. Jasta, "Herbert, a smart hydroponic wall garden for urban spaces", HomeCrux. [Online]. Available: <https://www.homecrux.com/herbert-a-smart-hydroponic-wall-garden-for-urban-spaces/64325/>.
- [48] "PlantHive: The Elegant Smart Garden", Indiegogo. [Online]. Available: <https://www.indiegogo.com/projects/planthive-the-elegant-smart-garden#/>.
- [49] "Smart Garden: Your smart garden for fresh & local superfoods", kickstarter.com. [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/921065286/smart-garden-your-smart-garden-for-fresh-and-local>.
- [50] "AVA Byte: Smart, Simple, Sustainable Indoor Garden", Indiegogo, 2021. [Online]. Available: <https://www.indiegogo.com/projects/ava-byte-smart-simple-sustainable-indoor-garden#/>.
- [51] T. Indoors), "TG-L ("Sunshine" Indoors)", LeGrow. [Online]. Available: <https://legrow.co/collections/plant-home-accessories/products/tg-l>.
- [52] "Amazon", Amazon.es. [Online]. Available: <https://www.amazon.es/LeGrow-Inteligente-integrada-Interior-hidrop%C3%B3nico/dp/B07JPLP375>.
- [53] "LeGrow - The Smart Indoor Garden For Any Space", kickstarter.com. [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/legrow/legrow-the-smart-indoor-garden-for-any-space?lang=es>.
- [54] "Indoor Hydroponic Gardening Systems - OPCOM Farm", OPCOM Farm. [Online]. Available: <https://www.opcomfarm.com/newproduct.php?Item=7&id=465>.
- [55] DIY Hydroponics: How to build a Hydroponics system with Plastic Bottles for Balcony Garden (2020).
- [56] Como cultivar lechuga hidropónica método Kratky || hidroponía sin electricidad || México Verde.

- [57] Método Kratky HIDROPONÍA CASERA Sistema hidropónico SIN BOMBA de agua y SIN ELECTRICIDAD.

- [58] Como hacer Sistema de CULTIVO HIDROPÓNICO casero paso a paso Huerto urbano en casa.

- [59] Cultiva lechugas en casa sin parar – Increíble Idea – Lechuga hidropónica infinita.

- [60] "Sodimac.com", SodimacCO. [Online]. Available: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/guias-de-compra/todo-sobre-tuberias-pvc-hidraulico>.

- [61] S. Campillo, "¿Cuál es la fecha de caducidad del agua embotellada?", Hipertextual, 2021. [Online]. Available: <https://hipertextual.com/2016/05/fecha-de-caducidad-del-agua>.

- [62] "Software incluido | Product Design & Manufacturing Collection | Autodesk", Latinoamerica.autodesk.com. [Online]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/collections/product-design-manufacturing/included-software?plc=PDCOLL&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>.

- [63] T. ESP8266, "Wi-Fi: Tarjeta NodeMcu V3 para ESP8266", Didacticasselectronicas.com. [Online]. Available: <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/comunicaciones/wi-fi/tarjeta-nodemcu-v3-para-esp8266-nodemcuv3-tarjetas-modulos-de-desarrollo-con-de-wifi-wi-fi-internet-iot-para-esp8266-esp-8266-detail>.

- [64] S. HDC1008, "Sensor de temperatura y humedad S HDC1008", Didacticasselectronicas.com. [Online]. Available: <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-y-humedad-hdc1008-sensores-de-temperatura-y-humedad-y-temperatura-hdc1008-detail>.

- [65] S. proximidad, "Distancia: Sensor de luz y proximidad", Didacticasselectronicas.com. [Online]. Available:

<https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-luz-y-proximidad-sensores-de-distancia-sensor-de-proximidad-de-luz-ap3216-detail>.

- [66] C. 30cm, "USB: Cable USB tipo B para Arduino™ de 30cm", Didacticasselectronicas.com. [Online]. Available: <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/cables/usb/cable-usb-tipo-b-para-arduino-de-30cm-cables-usb-tipo-b-para-impresoras-controllino-arduino-detail>.
- [67] F. Adaptadores and A. 3A, "Adaptadores: Adaptador Raspberry Pi 4 - 5V 3A", Didacticasselectronicas.com. [Online]. Available: <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/fuentes-adaptadores/adaptadores/fuente-raspberry-adaptador-raspberry-rpi4-adaptadores-fuentes-de-voltaje-poder-alimentacion-de-5v-3a-para-raspberry-pi-4-con-conector-usb-c-rpi4-detail>.
- [68] "Introduction | Dash for Python Documentation | Plotly", Dash.plotly.com. [Online]. Available: <https://dash.plotly.com/introduction>.
- [69] K. Schwaber and M. Beedle, Agile Software Development with Scrum, 1st ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2001.
- [70] "I2C", Aprendiendo Arduino. [Online]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/07/09/i2c/#comments>.
- [71] "Comunicación I2C PIC Explicación Fácil - [febrero, 2021]", Control Automático Educación. [Online]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/comunicacion-i2c/>.
- [72] "Adafruit HDC1008 Temperature and Humidity Sensor Breakout", Adafruit Learning System. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-hdc1008-temperature-and-humidity-sensor-breakout/overview>.
- [73] AP3216C Rev0.86 3-in-1 Digital ALS + PS + IRLED Module.

- [74] "wollewald/AP3216_WE", GitHub. [Online]. Available: https://github.com/wollewald/AP3216_WE/blob/master/README.md.
- [75] "I2C – Aprendiendo Arduino", Aprendiendo Arduino. [Online]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/i2c/>.
- [76] "wollewald/AP3216_WE", GitHub. [Online]. Available: https://github.com/wollewald/AP3216_WE/blob/master/List%20of%20public%20functions.png.
- [77] "JSON", Json.org. [Online]. Available: <https://www.json.org/json-es.html>.
- [78] <https://tecnologiaparalaindustria.com/guia-para-usar-protocolos-http-y-mqtt-en-proyectos-iiot-para-fabricas/>
- [79] "MQTT", Aprendiendo Arduino. [Online]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/19/mqtt/>.
- [80] "HTTP - Overview - Tutorialspoint", Tutorialspoint.com. [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/http/http_overview.htm.
- [81] "What is HTTPS?", cloudflare.com. [Online]. Available: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/ssl/what-is-https/>.

ANEXOS

Anexo 1 – Código que realiza el envío de la trama

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_HDC1000.h"
#include <AP3216_WE.h>
#include <ESP8266WiFi.h>

//Se configura una instancia de los sensores
Adafruit_HDC1000 hdc = Adafruit_HDC1000();
AP3216_WE myAP3216 = AP3216_WE();

double VectorTemperatura[10];
double VectorLuz[10];
double VectorHumedad[10];

double PromLuz =0;
double PromTemp =0;
double PromHume =0;

//Configuracion Servidor
const char* ssid = "TP-Link_E1BA";
const char* password = "63669237";
//poner la direccion IP del servidor
const char* server = "3.80.57.191";

double latitud= 6.2455678;
```

```
double longitud= -75.4678888;
//double temperatura = 23;
double temperatura = 0;
double Humedad = 0;
double Luz = 0;
int id = 1001;

WiFiClient client;

void setup() {

    //Sensor de Humedad y Temperatura
    //Se inicializa la comunicación serial y se válida que se esté comunicando el sensor
    Serial.begin(115200);
    //Serial.println("HDC100x test");

    //Conexion con el servidor

    delay(10);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
}
```



```

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");

// se comprueba si el sensor está conectado y el Arduino lo puede encontrar
if (!hdc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find sensor!");
  while (1);
}

//Sensor de Luz
Wire.begin();
myAP3216.init();
myAP3216.setLuxRange(RANGE_20661);
myAP3216.setPSGain(2);
myAP3216.setNumberOfLEDPulses(1);
myAP3216.setPSMeanTime(PS_MEAN_TIME_50);
myAP3216.setPSThresholds(300, 800);
myAP3216.setPSIntegrationTime(1);
myAP3216.setPSInterruptMode(INT_MODE_HYSTERESIS);
delay(1000);
}

void loop(){

  FuncionLuz();
  FuncionTemperatura();
  FuncionHumedad();
  //FuncionImprimirDatos();
  FuncionPromedio();

```

```

FuncionArmarTrama();

}

void FuncionLuz(){

    //Sensor de Luz
    //Inicializa las variables que toma el sensor
    float als = myAP3216.getAmbientLight();
    unsigned int prox = myAP3216.getProximity();
    unsigned int ir = myAP3216.getIRData(); // Ambient IR light
    bool isNear = myAP3216.objectIsNear();
    bool irIsValid = !myAP3216.irDataIsOverflowed();

    //Se llena el vector con los datos del sensor de luz
    for(int i=0; i<10; i++){
        VectorLuz[i]=als;
        delay(500);
    }

}

void FuncionTemperatura(){

    //Sensor de Temperatura

    //Se llena el vector con los datos del sensor de temperatura
    for(int i=0; i<10; i++){
        VectorTemperatura[i]=hdc.readTemperature();
    }
}

```

```

        delay(500);
    }

}

void FuncionHumedad(){

    //Sensor de Humedad

    //Se llena el vector con los datos del sensor de humedad
    for(int i=0; i<10; i++){
        VectorHumedad[i]=hdc.readHumidity();
        delay(500);
    }

}

void FuncionPromedio(){
    double sumaLuz =0;
    double sumaTemp =0;
    double sumaHume =0;

    for(int i=0; i<10; i++){
        sumaLuz += VectorLuz[i];
    }

    for(int i=0; i<10; i++){
        sumaTemp += VectorTemperatura[i];
    }
}

```

```
}
```

```
for(int i=0; i<10; i++){  
    sumaHume += VectorHumedad[i];  
}
```

```
PromLuz = sumaLuz/10;  
PromTemp = sumaTemp/10;  
PromHume = sumaHume/10;
```

```
Serial.print("El promedio de la luz es: "); Serial.print(PromLuz);  
Serial.print("\t\tEl promedio de la Temp es: "); Serial.print(PromTemp);  
Serial.print("\tEl promedio de la Hume es: "); Serial.println(PromHume);  
}
```

```
void FuncionImprimirDatos(){
```

```
    Serial.println("..... ");  
    for(int i=0; i<10; i++){  
        Serial.print("El valor de la luz es: "); Serial.print(VectorLuz[i]);  
        Serial.print("\t\tEl valor de la temp es: "); Serial.print(VectorTemperatura[i]);  
        Serial.print("\t\tEl valor de la hume es: " ); Serial.println(VectorHumedad[i]);  
    }
```

```
}
```

```
void FuncionArmarTrama(){
```

```

String postData = "";

Serial.println("datos para enviar");

postData = String("id="+String(id)+"; temperatura="+String(PromTemp)+";
humedad="+String(PromHume)+"; luz="+String(PromLuz));

Serial.println(postData);

if ( client.connect(server,80))
{
    Serial.println("conectado");
    client.print("POST /sensor_send_data HTTP/1.1\n");
    // poner la direccion IP del servidor
    client.print("Host: 192.168.0.101 \n");
    client.println("User-Agent: Arduino/1.0");
    client.println("Connection: close");
    client.println("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded;");
    client.print("Content-Length: ");
    client.println(postData.length());
    client.println();
    client.println(postData);
} else {
    Serial.println("error de conexion");
}
}

```

Anexo 2 – Código para visualizar la data y graficar los datos en la página web

```
from flask import Flask, render_template, jsonify, request
import sqlite3
import sys
```

```
#importando las librerias para server dash+flask
import dash
import dash_html_components as html
import dash_core_components as dcc
import dash_bootstrap_components as dbc
import plotly.graph_objects as go
from dash.dependencies import Input, Output
```

```
#importando las librerias para trabajar con los datos y los modelos
import pandas as pd
import sqlite3
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import sys
```

```
db_Data = './Data.db'
```

```
server = Flask(__name__)
```

```
sensorID = []
```

```
sensorTime = []
```

```
sensorTemp = []
```

```

sensorHum = []
sensorLuz = []
con = sqlite3.connect(db_Data)
curs = con.cursor()
for fila in curs.execute("SELECT * FROM data"):
    sensorID.append(fila[0])
    sensorTime.append(fila[1])
    sensorTemp.append(fila[2])
    sensorHum.append(fila[3])
    sensorLuz.append(fila[4])
con.close()
leyenda = 'Variables del cultivo'
Temperatura = sensorTemp
Humedad = sensorHum
Luz = sensorLuz
ID = sensorID

app = dash.Dash(__name__)
app.layout = html.Div(children=[
    html.H1(children = 'Grafica Temperatura'),
    dcc.Graph(id='example',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Temperatura, 'type': 'line', 'name': 'Temperatura'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    )
])

```

```

    ),
    html.H1(children = 'Grafica Humedad'),
    dcc.Graph(id='example2',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Humedad, 'type': 'line', 'name': 'Humedad'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    ),
    html.H1(children = 'Grafica Luz'),
    dcc.Graph(id='example3',
        figure={
            'data':[
                {'x': sensorTime, 'y': Luz, 'type': 'line', 'name': 'Luz'},
            ],
            'layout':{
                'title': 'Basic Dash Example'
            }
        }
    )
])

```

```
@server.route('/')

```

```
def home():

```

```
    return render_template('index.html')

```

```
@server.route('/registro')

```



```

def registro():
    return render_template('registro.html')

@server.route("/visualizacion")
def captura():
    return render_template('chart.html', server.app)

@server.route('/sensor_send_data', methods=['POST'])
def sensor_send():
    values = request.data
    print(values)
    a=str(request.values.get('id'))
    print(a.split(";")[0])
    print(a.split(";")[1].split("=")[1])
    print(a.split(";")[2].split("=")[1])
    print(a.split(";")[3].split("=")[1])
    con = sqlite3.connect(db_path)
    cur = con.cursor()
    cur.execute("INSERT INTO data VALUES(" + a.split(";")[0] + "," + "datetime('now')," +
a.split(";")[1].split("=")[1] + "," + a.split(";")[3].split("=")[1] + "," + a.split(";")[2].split("=")[1] +
")")
    con.commit()
    con.close()
    return "ok",201

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True,host='0.0.0.0',port=80)

```

Anexo 4 – Anteproyecto

Pregrado en Tecnologías de la Información y la Comunicación

Formulación del Proyecto de Grado

[IoT]

Participantes

Datos del Estudiante

Nombre	Kimberly Rubi Chozo Juárez		
Correo electrónico	Kimberly.chozo@upb.edu.co		
ID Usuario (cédula)	582772	ID UPB	000324972

Datos del Director

Nombre	Leonardo Betancur Agudelo		
Correo electrónico	Leonardo.betancur@upb.edu.co		
ID Usuario (cédula)	75.096.698		
Facultad/Institución/Empresa	Facultad de Ingeniería / UPB		



Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería en Tecnologías de la Información y la Comunicación

Medellín, 2020.08.17

1 Título

Metodología de agricultura urbana distribuida empleando Internet de las Cosas en los proyectos de investigación aplicada a seguridad alimentaria del grupo GIDATIC de la UPB.

2 Resumen

2.1 Español

Los objetivos sustentables de la ONU definen varios problemas que la raza humana debe enfrentar para sobrevivir. En las próximas décadas, uno de ellos es la producción de alimentos, que debe ser productiva, sustentable y amigable con el medio ambiente lo que actualmente se conoce como seguridad alimentaria. De ahí que en este proyecto queremos proponer un modelo replicable de agricultura urbana distribuida que tiene como objetivo implementar cultivos verticales y desarrollar un sistema de monitoreo remoto con tecnología IoT para detectar las variables de interés en los cultivos y almacenar dichos datos en una plataforma centralizada en un servicio en la nube para tomar decisiones inteligentes basadas en la información recopilada con la finalidad de ayudar a disminuir baja productividad agrícola e inseguridad alimentaria.

2.2 Inglés

The Sustainable Goals of the UN define several problems that human race must face in order to survive. In the next decades, one of them is the food production, that should be productive, sustainable and environmentally friendly, which is currently known as food security. Hence, in this project we want to propose a replicable model of distributed urban agriculture aims to implement vertical crops and develop a remote monitoring system with IoT technology to sense the variables of interest in crops and store such data on a centralized platform in a cloud service in order to make smart decisions based on the collected information in order to help reduce low agricultural productivity and food insecurity.

3 Palabras clave

3.1 Español

Agricultura Urbana Distribuida, Baja Productividad Agrícola, Internet de las Cosas, Seguridad alimentaria, Sistema de Monitoreo Remoto.

3.2 Inglés

Distributed Urban Agriculture, Low Agricultural Productivity, Internet of Things, Food Security, Remote Monitoring System.

4 Tema

El proyecto se basa en desarrollar un proceso de transferencia tecnológica de cultivos verticales con monitoreo por internet de las cosas, el proyecto busca proponer un modelo replicable de agricultura urbana distribuida capaz de detectar e identificar las diferentes variables de interés con la finalidad de disminuir la baja productividad agrícola y contribuir a la seguridad alimentaria.

5 Problema

América Latina y el Caribe (ALC) está destinada a ser la gran despensa alimentaria del planeta. Cuenta con el 38% de la tierra destinada al sector agrícola. La producción de alimentos debería incrementarse en un 70% para poder dar respuesta a la demanda, y el 80% de ese aumento sería generado a través de mejoras en productividad e intensificación de los sistemas agropecuarios. Sin embargo, gran parte de su producción agrícola está bajo modelos de agricultura tradicional de mediana y pequeña escala, poco tecnificada, que no conlleva a la generación de los excedentes necesarios para insertarse en los grandes comercios agroindustriales.

Es en este sector de pequeños y medianos agricultores donde las diferencias de productividad son mayores respecto a las que podrían alcanzarse con la adopción y uso de soluciones tecnológicas apropiadas. Por ello se desarrollará una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas para el sensado de las variables de interés en los cultivos.

6 Justificación

De acuerdo al Banco Mundial, la producción agrícola en el campo es una de las principales fuentes de trabajo en los países en desarrollo y tiene grandes efectos en términos de la reducción de pobreza, uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible trazados por la ONU en 2015.

Por otra parte, el Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PNSAN) de Colombia [1] establece un marco que busca proteger a la población de situaciones como el hambre y la alimentación inadecuada, asegurar el acceso oportuno a alimentos de calidad y lograr la articulación de intervenciones intersectoriales e interinstitucionales. Dentro de las líneas de acción del PNSAN se establecen:

- Contar con una adecuada oferta de los alimentos prioritarios establecidos en el plan.
- Garantizar el acceso al grupo de alimentos prioritarios.
- Desarrollar programas de generación de ingresos que favorezcan la seguridad alimentaria y nutricional.
- Evaluar y mejorar programas de promoción social relacionados con la SAN.
- Incentivar prácticas de producción para el auto-consumo.
- Garantizar el acceso a alimentos en caso de eventos indeseables.

La agricultura vertical viene consolidándose como la mejor estrategia para incrementar los volúmenes de producción [2][3]. Es en la actualidad, un campo de innovación tecnológica de interés global. Entre sus ventajas se mencionan:

- Reduce el espacio de producción.
- Ahorra agua, hasta en un 95%.
- Produce todo el año, independientemente del clima.
- Logra una mayor producción en menos tiempo.
- Reduce las emisiones de CO₂.
- Incrementa la producción en más de 10 veces comparada con la agricultura horizontal.
- Es de más fácil control por los agricultores por tratarse de un espacio más reducido.
- Disminuye el gasto energético y los riesgos ocupacionales de los cultivadores.
- Reduce los desperdicios y consumo de agroquímicos.
- Incrementa la variedad de cultivos en espacios reducidos.
- Escalabilidad y replicabilidad.

Desde el punto de vista de las AgTech, la Food and Agriculture Organization (FAO) de las Naciones Unidas en conjunto con la International Telecommunications Union (ITU) hacen una identificación de los retos y oportunidades de la tecnología Internet de las cosas en el agro [4]. Se identifican oportunidades concretas de implementación de estas tecnologías con miras a resolver los retos que plantea el desarrollo del sector agrícola a futuro. Es así que se identifican casos concretos de aplicación de la tecnología IoT tales como: sensado de variables, recolección de datos, construcción de mapas georeferenciados de variables agronómicas.

7 Marco referencial

7.1 Marco contextual

El hambre es una sensación física incómoda o dolorosa, causada por un consumo insuficiente de energía alimentaria. Se vuelve crónica cuando la persona no consume una cantidad suficiente de calorías (energía alimentaria) de forma regular para llevar una vida normal, activa y saludable [5].

La estimación más reciente muestra que antes de la pandemia de la COVID-19, casi 690 millones de personas padecen hambre, es decir, el 8,9% de la población mundial, estaban subalimentadas (un aumento de unos 10 millones de personas en un año y de unos 60 millones en cinco años). Este dato pone de relieve el inmenso desafío que supone alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible del Hambre Cero (ODS 2) para 2030 [6].

Esta estimación se basa en nuevos datos sobre población y suministro de alimentos y, lo que es más importante, nuevos datos de encuestas por hogares que permitieron revisar la desigualdad del consumo de alimentos en 13 países, incluida China. Una evaluación preliminar sugiere que la pandemia de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) puede añadir entre 83 y 132 millones de personas al número total de personas subalimentadas en el mundo en 2020, en función de la hipótesis de crecimiento económico.

Se entiende por seguridad alimentaria “cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias, para llevar una vida activa y sana”. La seguridad alimentaria se basa en cuatro pilares [7]:

1. La disponibilidad física de alimentos
2. El acceso económico y físico a alimentos
3. La utilización apropiada y sana de alimentos
4. La estabilidad de estos factores en el tiempo

Entonces, la inseguridad alimentaria puede empeorar la calidad de las dietas y, en consecuencia, incrementar el riesgo de diversas formas de malnutrición, lo cual puede conducir a la desnutrición, así como al sobrepeso y la obesidad. En 2019, cerca de 750 millones de personas, o casi una de cada 10 personas en el mundo, se vieron expuestas a niveles graves de inseguridad alimentaria. Teniendo en cuenta el número total de personas afectadas por la inseguridad alimentaria moderada o grave, se estima que unos 2 000 millones de personas en el mundo no disponían de acceso regular a alimentos inocuos, nutritivos y suficientes en 2019 [6].

Según Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la población mundial llegará a 9.100 millones de personas en 2050 por esto será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 % a fin de alimentar de forma adecuada a la población mundial produciendo el tipo de alimentos que faltan para garantizar la seguridad alimentaria. La producción de varios productos básicos fundamentales casi tendría que duplicarse, por ejemplo, la producción anual de cereales

tendría que incrementarse en casi mil millones de toneladas, y la producción de carne en más de 200 millones de toneladas, hasta alcanzar un total de 470 millones de toneladas en 2050 [8].

Basándose en los datos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), entidad adscrita al Ministerio de Agricultura, la FAO indicó que Colombia es uno de los países que tiene la capacidad de ser despensa agrícola del mundo, ya que el país cuenta con más de 26,5 millones de hectáreas que tienen vocación para ser cultivadas es decir más de 23% del suelo nacional (114 millones de hectáreas tiene Colombia), en relación con las 42.9 millones de hectáreas de los suelos más aptos. Sin embargo, a fin de desarrollar su gran potencial el país deberá resolver varias problemáticas importantes como el uso ineficiente del suelo que tienen que ver con la debilidad en el proceso de planificación del uso del suelo, la informalidad, la falta de infraestructura, la falta de tecnificación para una producción sostenible, el cierre de brechas digitales en las regiones periféricas que permitan a los agricultores obtener información veraz y oportuna enfocadas a tomar mejores decisiones en cuanto al manejo integral de cultivo, posibilitando una mayor productividad y competitividad de las regiones basado en la agricultura de precisión.

En este sentido, el Gobierno Nacional ha establecido una serie de estrategias en el CONPES 3918 que permitirán alcanzar las metas establecidas en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Por otra parte, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en su Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas, PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA, estableció que, la oferta nacional disponible de alimentos de 28,5 millones de toneladas. Sin embargo, en Colombia se pierden y se desperdician un total de 9,76 millones de toneladas, lo cual equivale al 34 % del total. El 40,5 % del total de alimentos perdidos y desperdiciados, corresponde a pérdidas que se ocasionan en la etapa de producción. Lo cual es un problema porque se está desaprovechando la oportunidad de garantizar la seguridad alimentaria de toda la población, más aún cuando disminuir la pérdida y el desperdicio de alimentos es un propósito mundial a partir de la aprobación de los ODS. Específicamente en este tema, el compromiso establece la obligación de “reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha” (Naciones Unidas, 2015). [9]

En ese sentido, actualmente nos encontramos en un contexto que nos permite aportar soluciones para este problema de interés mundial, mediante herramientas tecnológicas de la cuarta revolución industrial.

La cuarta revolución industrial no se trata solo de máquinas y sistemas inteligentes y conectados. Su alcance es mucho más amplio. Ocurren simultáneamente oleadas de nuevos avances en áreas

que van desde la secuenciación de genes hasta la nanotecnología, desde las energías renovables hasta la computación cuántica. Es la fusión de estas tecnologías y su interacción a través de los dominios físico, digital y biológico lo que hace que la cuarta revolución industrial sea fundamentalmente diferente de las revoluciones anteriores. En esta revolución, las tecnologías emergentes y la innovación de base amplia se están difundiendo mucho más rápido y más ampliamente que en las anteriores, que continúan desarrollándose en algunas partes del mundo [10].

Una de las herramientas tecnológicas de la cuarta revolución industrial que nos permite afrontar los retos que presenta la baja productividad y la inseguridad alimentaria se encuentra presente en las Smart Cities. Este concepto interconecta diferentes operadores y servicios para mejorar las funcionalidades y la calidad de vida de los ciudadanos. Para ello, las Ciudades Inteligentes confían en una arquitectura de Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) para recuperar, procesar e intercambiar datos (Bouskela, Casseb, Bassi, & De Luca, 2016).

7.2 Marco conceptual

En el siguiente capítulo se explicarán los conceptos teóricos básicos necesarios para la total comprensión de este trabajo.

- Cuarta Revolución Industrial: El término Industria 4.0, acuñado por el Gobierno de Alemania, responde a la denominada estrategia dual alemana que busca seguir liderando la oferta de equipos y soluciones para la producción industrial y su aplicación en entornos industriales mediante la integración de las cadenas de valor y la digitalización de todo el proceso productivo. El nombre 'Industria 4.0' fue creado por Mark Watson, alto ejecutivo alemán (IHS), para destacar el reto para la 4ª revolución industrial: "el desarrollo de software y sistemas de análisis que sean capaces de transformar el enorme volumen de datos producidos por las empresas, las fábricas, los clientes, los usuarios y los mercados en información útil y valiosa para todos [11]."
- IoT: Se conoce como Internet de las cosas a la capacidad de crear conexión entre objetos del mundo cotidiano, procesos, internet y personas, logrando una interconexión en la cotidianidad, permitiendo compartir información y almacenarla si se desea en bases de datos propiamente creada para tal fin [12], así teniendo un control y acceso a esta información desde cualquier parte en la que se encuentre una persona, obviamente contando con acceso a internet. [13], [14].
- Smart Cities: El BID lo define como: Una Ciudad Inteligente es aquella que coloca a las personas en el centro del desarrollo, incorpora Tecnologías de la Información y Comunicación en la gestión urbana y usa estos elementos como herramientas para estimular la formación de un gobierno eficiente que incluya procesos de planificación

colaborativa y participación ciudadana. Al promover un desarrollo integrado y sostenible, las Ciudades Inteligentes se tornan más innovadoras, competitivas, atractivas y resilientes, mejorando así vidas.

- Agricultura de precisión: Es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental (Pierce y Nowak, 1999). Con este enfoque, las ventajas de la agricultura de precisión sobre la tradicional son claras y contundentes debido a la posibilidad de utilizar los insumos en dosis adecuadas y de acuerdo con la real necesidad del cultivo. Este manejo del ambiente permite la aplicación de insumos solo en las áreas en las que resulta necesario y en donde la respuesta de esta intervención tendrá un claro beneficio económico. Se identifica además una ventaja sobre la sostenibilidad ambiental de la producción, ya que se evita la aplicación de insumos en general y de agroquímicos en particular en las áreas en que no son necesarios o se requieren en cantidades inferiores. Esto que permite una disminución del impacto sobre el medio ambiente y una significativa reducción de los recursos energéticos, lo que seguramente aportará a la mitigación del cambio climático global [15].
- Agricultura Urbana: Se denomina a la producción de alimentos dentro de los confines de las ciudades: en los patios, terrazas, huertos comunitarios y huertas de frutales, así como en espacios públicos o no aprovechados. Una garantía de alimentos para la población [16].
- Arquitectura de IoT: La arquitectura de IoT requiere un enfoque mucho más orgánico en comparación con las redes tradicionales porque representa una frontera extrema en las comunicaciones. El alcance y la amplitud de los dispositivos que se conectarán son enormes, y las conexiones a los bordes de la red donde se colocarán estos dispositivos serán de "baja fidelidad": baja velocidad, con e intermitentes. Al mismo tiempo, gran parte de la comunicación será de máquina a máquina y en pequeños fragmentos de datos, lo que es completamente opuesto a redes como la Internet tradicional. Francis daCosta desarrolló el concepto de una arquitectura de IoT de tres niveles: end device; nodos propagadores especializados en redes y funciones integradoras de búsqueda de información [17].
- Almacenamiento en nube: Cloud Computing, o computación en la nube, es el nombre dado a un concepto que hace referencia a la entrega de recursos computacionales ofrecidos de manera remota y en tiempo real, de esa manera, las empresas pueden acceder a diferentes servicios tecnológicos en cualquier parte del mundo a través del internet, sin la preocupación de mantener un data center local. Los modelos consideran las ofertas de software, plataforma o infraestructura presentado tres modelos principales: IaaS (Infrastructure-as-a-service), PaaS (Platform-as-a-service) e SaaS (Software-as-a-service). Los recursos computaciones entregados por medio de la Cloud poseen tres modelos principales: nube pública, nube privada y nube híbrida [18].

Microsoft Azure: Microsoft Azure es un servicio de computación en la nube creado por Microsoft para construir, probar, desplegar y administrar aplicaciones y servicios mediante el uso de sus centros de datos. Microsoft Azure es un servicio de pago [19].

Amazon Web Services: es una colección de servicios de computación en la nube pública que en conjunto forman una plataforma de computación en la nube, ofrecidas a través de Internet por Amazon.com. Es usado en aplicaciones populares como Dropbox, Foursquare, HootSuite. AWS es un servicio de pago [20].

Google Cloud: es una plataforma que ha reunido todas las aplicaciones de desarrollo web que Google estaba ofreciendo por separado. Google Cloud es un servicio de pago [21].

Servicio de computación en la nube de IBM: es un conjunto de servicios de computación en la nube para empresas que ofrece la compañía de tecnología de la información IBM. IBM es de pago [22].

- Sensores para agricultura urbana: Toda planta en crecimiento necesita tres cosas básicas: luz, agua y nutrientes. En la agricultura tradicional, las plantas crecen en el exterior y el sol proporciona la luz, los sistemas de riego suministran el agua y el suelo proporciona los nutrientes que las plantas necesitan para crecer. La hidroponía es una forma diferente de agricultura que se realiza en interiores y se refiere al cultivo de plantas en agua rica en nutrientes sin el uso de suelo. Dado que la hidroponía es una tecnología de interior, la iluminación es fundamental. Los sistemas hidropónicos se pueden integrar en invernaderos donde utilizan la luz natural del sol o se pueden integrar en cualquier edificio mediante el uso de iluminación artificial. Además, dado que el suelo generalmente proporciona a las plantas en crecimiento los nutrientes que necesitan, en hidroponía, es necesario complementar el agua con los catorce nutrientes y minerales esenciales que las plantas necesitan [23]. Teniendo en cuenta lo anterior se define que los sensores con más importantes para el sensado de un cultivo son los de luz, humedad y temperatura. Pero si se desea tener un mayor control de variables del cultivo se puede añadir un sensor de PH también.

7.3 Marco legal

El Estado Colombiano, como Estado Social de Derechos, ha consolidado un bloque normativo que busca regular el uso de los contenidos protegidos por el derecho de autor y los derechos conexos, que son masivamente publicados, almacenados, descargados o transmitidos a través de la red global de información. En particular regula la responsabilidad civil que se deriva de las infracciones al derecho de autor y los derechos conexos en el entorno de las redes informáticas y especialmente, la Internet.

Se conoce como "Ley Lleras" a una serie de proyectos de ley que modifican el derecho de autor, siendo el primero el Proyecto de ley 241 de 2011, este proyecto de ley que buscaba regular la responsabilidad de los proveedores de servicios de Internet frente a las infracciones de derechos de

autor de los usuarios [24]. El primer capítulo de la ‘Ley Lleras’ se ocupa de definir el marco general de este mecanismo según el tipo de servicio que prestan los PSI, por ejemplo, los PSI que transmiten los datos infractores no debían manipularlos o seleccionarlos, y aquellos que los alojan no debían estar recibiendo ningún beneficio atribuible a la actividad infractora. Son estas las condiciones que, según el proyecto, determinaba que los PSI fueran en realidad simples intermediarios, ajenos a la infracción de derechos de autor del usuario de Internet.

El segundo capítulo del proyecto desarrolla el proceso de notificación y enumeraba los elementos que debían tener las solicitudes de retiro y de restablecimiento. Adicionalmente, facultaba al juez para decretar medidas –cautelares o definitivas– como cancelar el servicio de Internet de un usuario ‘reincidente’, y para entregar al titular del derecho de autor información sobre éste, incluida la confidencial (por ejemplo, el historial de búsquedas o de navegación del usuario). Por último, este capítulo contemplaba una pena de hasta ocho años de prisión para quienes hicieran accesible al público, a través de una red digital, cualquier material protegido por derechos de autor o derechos conexos con fines comerciales. El artículo 271 del Código Penal ya prevé ese delito –acaso de manera más general pero igualmente aplicable, y su pena fue aumentada a un máximo de ocho por la Ley 1032 de 2006 [25].

7.4 Estado del arte

La agricultura tradicional es altamente vulnerable al cambio climático y a la presencia de enfermedades y plagas, que cada vez son más nocivas y resilientes a los agroquímicos habituales [26]. Este tipo de agricultura se caracteriza por la utilización de técnicas rudimentarias, que minimizan la capacidad productiva de los suelos y ocasionan impactos negativos sobre el medio ambiente [27].

Los sistemas de cultivo vertical (VFS) e hidropónicos se han propuesto como una estrategia para aumentar la productividad por unidad de superficie, extendiendo la producción de los cultivos a la dimensión vertical, mejorando las condiciones ambientales.

Las tecnologías de la hidroponía se caracterizan por no requerir del suelo para el crecimiento de las plantas. Las funciones del suelo para el suministro de nutrientes y soporte de las plantas es sustituido, por estructuras verticales, como tubos, a través de los cuales se suministra los nutrientes por intermedio de un flujo de agua. Al eliminar el suelo, también se eliminan las enfermedades y malezas transmitidas por el suelo y se puede tener un control más preciso sobre los requerimientos nutricionales de la planta. De esta manera, se pueden desarrollar con menor estrés, madurar más rápidamente, teniendo una mejor calidad y productividad por unidad de superficie [28].

Para producción de diferentes cultivos, se vienen utilizando y proponiendo diferentes técnicas de sistemas hidropónicos, por ejemplo: los de lecho de grava (gravel bed), bolsa flotante y la técnica de película de nutrientes (NFT) [29], también sistemas donde los nutrientes de las plantas son

suministrados a partir de desechos de peces, mientras que las plantas eliminan desechos del agua residual [30]. En [29] se realiza un estudio con diferentes sistemas, tomando como base el cultivo de la lechuga, midiendo la productividad en términos de rendimiento de biomasa, y la capacidad de eliminación de nitratos y fosfatos. Mostrando diferentes desempeños. En la producción los sistemas son buenos en términos estadísticos, mostrando mejor desempeño con los lechos de grava, pero sin diferencias significativas.

Con relación a distribución espacial, existen diferentes alternativas de la forma como se estructuran los cultivos para

aprovechar mejor el espacio físico. En [31], se realiza un estudio comparativo entre los cultivos horizontales y los cultivos verticales usando columnas cilíndricas verticales (VFS), mostrando una mayor productividad para este último. Considerando las diferentes clases de cultivos, muchas innovaciones pueden ser llevadas a cabo, para aprovechar el espacio y aumentar los niveles de productividad.

En el contexto de los cultivos verticales, existe otra tendencia, que es desarrollado dentro del concepto de ciudades inteligentes y sostenibles, donde se busca la renaturalización del territorio. Dentro de esta tendencia se destaca los cultivos urbanos, que se presentan como una alternativa, para reducir problemas asociados a limitación en tierras agrícolas ya que permiten realizar actividades agrícolas productivas, contribuyendo mismo tiempo, al enverdecimiento del área urbana. En [32] se proponen un modelo de construcción que integra la agricultura urbana, basados en coberturas verdes, que consideran las fachadas, el techo, las paredes y el balcón, como áreas propicias para la agricultura. Esta técnica actualmente viene siendo implementada en Indonesia con éxito.

Por otra parte, como recurso para mejorar los procesos de planeación, control y predicción en las actividades agrícolas, se vienen introduciendo sistemas derivados de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, lo que se ha llamado agricultura inteligente y de precisión. El uso de información y la disposición de datos apropiados, permite mejorar la productividad y disminuir los daños al medio ambiente; contribuyendo positivamente en el aumento de la competitividad del sector agroindustrial [33], [34]. La utilización de estos nuevos métodos y tecnologías tendrán un gran impacto en el sector agroindustrial colombiano.

Para aumentar los rendimientos se requiere de un excelente manejo integrado de plagas y enfermedades, así como de mejoras en los métodos, densidades y épocas de siembra y de inducción floral, al igual que controles efectivos en los procesos de cosecha y pos-cosecha. Para lograrlo se requiere de una agricultura específica por sitio, que permita hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno [35]. En este sentido el desarrollar una herramienta de planificación agrícola, mejorará los procesos de trazabilidad de información y planificación, al mismo tiempo que le permitirá a los agricultores y planificadores agrícolas, aumentar la capacidad de gestión y asignar los recursos de una manera más eficiente. Con la introducción de la informatización agrícola, la

agricultura tradicional ha sido reformada por las TIC avanzadas, contribuyendo eventualmente a las mejoras significativas en la productividad agrícola y la sostenibilidad [36]. El concepto de agricultura de precisión, basado en tecnología de la información, se está convirtiendo en una idea atractiva para la gestión de recursos naturales y la realización de un desarrollo agrícola moderno y sostenible [37].

Estas tendencias, se convierten en una gran oportunidad para incorporar una transformación en la práctica agrícolas, contribuyendo al bienestar los pequeños y medianos agricultores.

8 Fundamentación del proyecto

8.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología de diseño, desarrollo, construcción y despliegue de productos de agricultura urbana distribuida empleando internet de las cosas para aplicarla en proyectos de investigación de seguridad alimentaria del grupo GIDATIC de la UPB.

8.2 Objetivos Específicos, actividades y cronograma

- Diseñar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.
- Implementar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.
- Analizar el desempeño de una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas desarrollada en un caso de estudio aplicado mejorando las características de funcionamiento y generalización.
- Proponer una metodología replicable y generalizada de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.

Tabla 1. Objetivos específicos

Objetivo Específico No. 1							
Diseñar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.							
Productos							
Construcción del reporte de trabajos y proyectos similares, tanto de orden comercial, como de investigación, y se muestran las principales características de cada uno de ellos.							
Actividades							
No	Descripción	Cronograma					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	Identificación productos similares	X					
2	Comparación de todos los productos encontrados y determine cuales son los productos con las mejores y características.	X					
3	Construcción del reporte de diseño		X				

Tabla 2. Objetivos específicos

Objetivo Específico No. 2							
Implementar una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.							
Productos							
Identificación y diseño de planos del producto ideal.							
Actividades							
No	Descripción	Cronograma					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	Identificar el rango de comportamientos para el diseño ideal.		X				
2	Diseñar los planos del diseño ideal usando herramientas de CAD.		X				

Tabla 3. Objetivos específicos

Objetivo Específico No. 3							
Analizar el desempeño de una metodología replicable de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas desarrollada en un caso de estudio aplicado mejorando las características de funcionamiento y generalización.							
Productos							
Propuestas de insumos para el desarrollo de software y hardware del dispositivo.							
Actividades							
No	Descripción	Cronograma					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	Búsqueda de insumos para el desarrollo de software y hardware.				X		
2	Identificación y documentación de cambios.					X	

Tabla 4. Objetivos específicos

Objetivo Específico No. 4							
Proponer una metodología replicable y generalizada de agricultura urbana distribuida de internet de las cosas a nivel de producto mínimo viable.							
Productos							
Realización del informe final con recomendaciones y guías para el uso de un metodología replicable y generalizado de agricultura urbana distribuida.							
Actividades							
No	Descripción	Cronograma					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	Elaboración del informe final con recomendaciones y guías para el uso de una metodología replicable.						X

8.3 Metodología y Alcance

Al tratarse de un proyecto de desarrollo y adopción de un conjunto de servicios de base tecnológica, se utilizará Scrum como esquema para desarrollar los prototipos y cada una de las funcionalidades; y se espera hacer las siguientes fases:

1. Buscar todos los productos similares e identifique cuáles son sus características principales y sáquelas en termino económicos, productivos y tangibles. Ejemplo producción por kilos, costo, durabilidad, eficiencia energética y rentabilidad.
2. Realice una comparación de todos los productos encontrados y determine cuales son los productos con las mejores y características e identifique cuales son los dispositivos que tiene mayor y menor rendimiento tienen.
3. Identifique cual es el producto ideal y en que rango de comportamientos estaría y con base a ello identifique las características particulares que hagan que se cumplan con las características deseadas.
4. Diseñe el dispositivo siguiendo las características identificadas utilizando herramientas de CAD.
5. Buscar cuales son los requerimientos principales para el desarrollo del proyecto tanto para software y hardware.
6. Identificar y documentar problemas.
7. Toma de decisiones para realizar cambios o correcciones.
8. El desarrollo final se pone a prueba para ver cumplimiento de los requerimientos planteados inicialmente.
9. Se realiza la documentación general.

Scrum es un marco de referencia ágil para gestionar proyectos en empresas de cualquier sector y de cualquier tamaño. Scrum enfatiza el trabajo en equipo creativo y adaptativo para resolver problemas complejos. Usados de forma correcta puede ayudar a los equipos a entregar en períodos cortos, productos con valor. Esto con la finalidad de recibir una retroalimentación temprana, que permitirá mejorar continuamente y actuar en el preciso momento frente a cambios o imprevistos [31].

8.4 Presupuesto General del Proyecto

Tabla 2. Descripción de personal (en horas).

INVESTIGADOR / ASESOR/ AUXILIAR	FORMACIÓN ACADÉMICA	FUNCIÓN DENTRO DEL PROYECTO	DEDICACIÓN (h/sem)	Total de horas	
				UPB	Otras fuentes
Kimberly Chozo Juárez	Estudiante		35 horas	X	
Leonardo Betancur Agudelo	Docente - Investigador		2 horas	X	
TOTAL					

Tabla 3. Descripción de los equipos (que se planea adquirir o están en uso) (en miles de \$).

EQUIPO	JUSTIFICACIÓN	RECURSOS*		TOTAL
		UPB	Otras Fuentes	
Equipo de cómputo			X	
Servidores de la Universidad		X		2'000,000.00
Equipos de Laboratorio de la universidad		X		150,000.00

Equipos de medidas (alquiler)		X		300,000.00
TOTAL				2'450,000.00

* indique si el valor es por a) compra b) depreciación de equipo propio o c) alquiler

Tabla 4: Descripción de software (en miles de \$).

SOFTWARE	JUSTIFICACIÓN	RECURSOS		TOTAL
		UPB	Otras Fuentes	
Laboratorios virtuales		x		400,000.00
Plataformas de libre distribución	Software de acceso libre	x		0
Software de simulación	Software de acceso libre	x		0
Software de programación	Software de acceso libre	x		0
TOTAL				400,000.00

Tabla 5: Descripción de material bibliográfico (en miles de \$).

Material bibliográfico	JUSTIFICACIÓN	RECURSOS		TOTAL
		UPB	Otras Fuentes	
Fuente bibliográfica		x		1'000,000.00
TOTAL				1'000,000.00

Tabla 6: Descripción de viajes (en miles de \$).

Viajes	JUSTIFICACIÓN	RECURSOS		TOTAL
		UPB	Otras Fuentes	
Ninguno				0
TOTAL				0

9 Propiedad Intelectual y Confidencialidad

La titularidad de los derechos de propiedad intelectual se determinará de conformidad con el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad Pontificia Bolivariana y las leyes vigentes sobre la materia. En todo caso, los derechos morales corresponderán siempre a los creadores del Proyecto de Grado y éstos serán debidamente reconocidos para cualquier uso que se haga de la creación intelectual de que se trate.

Se recomienda guardar reserva de la información confidencial relativa al Proyecto de Grado, pues tal reserva puede ser fundamental para efectos de la protección de las creaciones intelectuales derivadas del mismo, por la vía de la propiedad intelectual.

Declaración de Privacidad del Archivo de Formulación

¿Es Privado el Archivo de Formulación? (Marque con una X)

	SI, este documento sólo puede ser visto por los participantes en el proyecto y coordinadores
X	NO, cualquiera puede ver el archivo en la web

10 Concepto ético

No aplica, ya que este proyecto no está relacionado a un trabajo con seres biológicos animales y/o vegetales, ni se trabajará con datos personales sensibles y poblaciones especiales.

11 Bibliografía

- [1] Gobierno Nacional. Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2013. En línea: <https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/pnsan.pdf>, consulta Ago/2019.

- [2] En línea: agricultura vertical, artículo divulgación. <https://blogagricultura.com/la-agricultura-vertical/>

- [3] En línea: agricultura vertical, artículo divulgación. <https://www.pactoporcolombia.gov.co/proposals/3269-agricultura-vertical-urbana-y-rural-como-alternativa-productiva-y-sostenible>)
- [4] Food and Agriculture Organization. e-Agriculture in Action: Blockchain for agriculture: Opportunities and Challenges, 2019. En línea: <http://www.fao.org/3/CA2906EN/ca2906en.pdf>, consulta Ago/2019.
- [5] FAO - Noticias: El hambre en el mundo lleva tres años sin disminuir y la obesidad sigue creciendo", Fao.org. [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1201670/icode/>.
- [6] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2020. Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- [7] Friedrich, Theodor (2014). La seguridad alimentaria: retos actuales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48 (4), 319-322. [Fecha de Consulta 11 de Agosto de 2020]. ISSN: 0034-7485. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930/193033033001>
- [8] Fao.org. n.d. Qué Hacemos | FAO | Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura. [online] Available at: <<http://www.fao.org/about/what-we-do/es/>>.
- [9] FAO (2015a). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Boletín, 2-31.
- [10] Schwab, K., n.d. The Fourth Industrial Revolution. [online] Luminariaz.files.wordpress.com. Available at: <<https://luminariaz.files.wordpress.com/2017/11/the-fourth-industrial-revolution-2016-21.pdf>>.

- [11] Schwab, K., n.d. The Fourth Industrial Revolution. [online] Luminariaz.files.wordpress.com. Available at: <<https://luminariaz.files.wordpress.com/2017/11/the-fourth-industrial-revolution-2016-21.pdf>>.
- [12] Clúster ICT-Audiovisual de Madrid, "Internet de las cosas: Objetos interconectados y dispositivos inteligentes," 2013. [Online]. Available: <https://actualidad.madridnetwork.org/imgArticulos/Documentos/635294387380363206.pdf>.
- [13] Fundación de la Innovación Bankinter, "El Internet de las Cosas," no. 2, p. 78, 2011.
- [14] D. Evans, "Internet de las cosas Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo," Cisco Internet Bussiness Solut. Gr. - IBSG, pp. 4–11, 2011
- [15] E. C. Leonard, 'Precision Agriculture', Encycl. Food Grains, vol. Vol. 4, pp. 162–167, Jan. 2016.
- [16] Fao.org. n.d. *Agricultura Urbana, ¿Alimentación Segura? / FAO*. [online] Available at: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/274824/>>.
- [17]
- [18] "¿Qué es Cloud Computing (computación en la nube)? - IBM Colombia", Ibm.com. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/co-es/cloud/learn>.
- [19] "Cloud Computing Services | Microsoft Azure", Azure.microsoft.com. [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/>.
- [20] "Capa gratuita de AWS | Cloud computing gratis | AWS", Amazon Web Services, Inc.. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/free/?all-free-tier.sort-by=item.additionalFields.SortRank&all-free-tier.sort-order=asc>.

- [21] "Cloud Computing Services | Google Cloud", Google Cloud. [Online]. Available: <https://cloud.google.com/>.
- [22] "Servicios de Computación en la Nube - IBM Cloud Colombia", Ibm.com. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/co-es/cloud>.
- [23] OPCOM Farm Advanced Hydroponics + STEM. STATE RENEWABLE ENERGY, p. 1
- [24] Karisma.org.co. n.d. El Debate Pendiente En Colombia Sobre La Protección De Derechos De Autor En Internet. El Caso De La 'Ley Lleras'. [online] Available at: <https://karisma.org.co/wp-content/uploads/2013/04/Paper1ElCasoLeyLleras.pdf>.
- [25] Karisma.org.co. n.d. El Debate Pendiente En Colombia Sobre La Protección De Derechos De Autor En Internet. El Caso De La 'Ley Lleras'. [online] Available at: <https://karisma.org.co/wp-content/uploads/2013/04/Paper1ElCasoLeyLleras.pdf>.
- [26] U. Unidad de Planeación Rural Agropecuaria, 'Rendición de cuentas UPRA, Departamento del Casanare', Rendición Cuentas Minist. Agric., 2018.
- [27] P. P. Jayaraman, A. Yavari, D. Georgakopoulos, A. Morshed, and A. Zaslavsky, 'Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt', Sensors (Switzerland), vol. 16, no. 11, pp. 1–17, 2016.
- [28] En línea: AgriDigital (<https://www.agridigital.io/>)
- [29] En línea: Provenance (<https://www.provenance.org/business/platform>)
- [30] En línea: AgUnity (<https://agunity.com/>)

- [31] En línea: agricultura vertical, artículo divulgación.
<https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2018/08/el-futuro-de-la-alimentacion-se-llama-agricultura-vertical/>
- [32] CEPAL, FAO, & IICA. (2014). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas 2013: una mirada hacia América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica: CEPAL, FAO, IICA.
- [33] Swinnen, J., & Kuijpers, R. (2017). Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies: Conceptual issues, typology, and policy implications. *Food Policy*, 1-12.
- [34] Pagés, C. (2010). *The Age of productivity transforming Economies from the Bottom Up*. Estados Unidos: PALGRAVE MACMILLAN.
- [35] Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2011). Global Value Chains Meet Innovation Systems: Are There Learning Opportunities for Developing Countries? . *World Development* , 39 (7), 261–1269.
- [36] Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Frances Pinter Publishers.
- [37] Edquist, C. (1997). *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organisations*. (E. C. Edquist, Ed.) London: Pinter/Cassell.
- [38] K. Schwaber and M. Beedle, *Agile Software Development with Scrum*, 1st ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2001.
- [39] K. Vlaanderen, S. Jansen, S. Brinkkemper, and E. Jaspers, 'The agile requirements refinery: Applying SCRUM principles to software product management', *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 58–70, Jan. 2011.

- [40] P. Nidagundi and L. Novickis, 'Introducing Lean Canvas Model Adaptation in the Scrum Software Testing', *Procedia Comput. Sci.*, vol. 104, pp. 97–103, Jan. 2017.
- [41] H. Lei, F. Ganjeizadeh, P. K. Jayachandran, and P. Ozcan, 'A statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software development projects', *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 43, pp. 59–67, Feb. 2017.
- [42] Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). La ruta hacia las Smart Cities Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado a partir de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>
- [43] V. C. y M. G. Virginia Rodríguez, *MANUAL DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN*. Chile: IICA, 2014
- [44] Zhang, Q., Pierce F. J. et al., *Agricultural Automation - Fundamentals and Practices*, crc Press, 2013

Posibles evaluadores

1. Nombre	John Fernando Vargas Buitrago
Título de posgrado	Doctorado en Ingeniería
Entidad	Universidad Pontificia Bolivariana
E-mail	johnfdo.vargas@upb.edu.co
Teléfono fijo	
Celular	
Grupo de investigación/ Empresa donde labora	
2. Nombre	Ferney Orlando Amaya Fernandez
Título de posgrado	Doctorado en Ingeniería área Telecomunicaciones

Entidad	Universidad Pontificia Bolivariana
E-mail	ferney.amaya@upb.edu.co
Teléfono fijo	
Celular	
Grupo de investigación/ Empresa donde labora	