

Informe de Proyecto

“Diseño de un sistema de riego eficiente para el uso adecuado y racional del recurso hídrico en el sector agrícola de Agua Caliente de Cartago”

**Brenda Luz Coto Valverde
Cartago, 2023**

“Diseño de un sistema de riego eficiente para el uso adecuado y racional del recurso hídrico en el sector agrícola de Agua Caliente de Cartago. “

Informe final del proyecto para optar por el título de Ingeniería en Diseño Industrial con el Grado Académico de **Licenciatura**

Brenda Luz Coto Valverde

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Asesor académico:

Master Marta Saénz Muñoz

Cartago Febrero, 2023

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial
Trabajo Final de Graduación_Licenciatura | II Semestre_2022

Trabajo Final de Graduación_Proyecto
Licenciatura Ingeniería en Diseño Industrial

Constancia de la Defensa

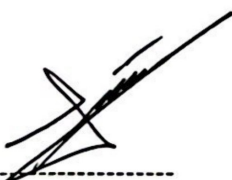
El Trabajo Final de Graduación presentado por la estudiante Brenda Luz Coto Valverde, carné 2015106383 para optar por el Título de Ingeniería en Diseño Industrial con grado académico Licenciado Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado:

“Diseño de un sistema de riego eficiente para el uso adecuado y racional del recurso hídrico en el sector agrícola de Agua Caliente de Cartago.”

ha sido defendido el día 02 de febrero del año 2023 ante el Tribunal Evaluador y su Profesor Asesor.



M. Eng. Marta Sáenz Muñoz
Profesor Asesor



M.Sc. Luis Carlos Araya Rojas
Tribunal Evaluador 1



Lic. Ada Luz Rivera Picado

2 de febrero , 2023



Este trabajo está bajo una [Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir igual 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico primeramente a mis padres, que siempre están ahí apoyándome en todo, siendo mi sustento día a día.

A mi familia, mis hermanas, mi hermano, mi abuela y mis sobrinos quiénes sirven de inspiración día a día, que soportan mi cansancio, mis días buenos y los no tan buenos también.

A todas las personas involucradas en el proceso, que estuvieron apoyándome y acompañandome en diversas ocasiones.

Gracias a todos por su apoyo, los **amo**.

Agradecimiento

Agradezco nuevamente a mi familia, todos ellos quiénes no dudaron en seguir impulsándome para lograr mis objetivos. A mis amigas y amigos que adoro.

También quiero agradecer a mi asesora la profesora Marta Sáenz a quién admiro muchísimo, que fue mi guía y apoyo durante todo el proyecto y siempre ha creído en mis capacidades como diseñadora, profesional y persona.

A todos mis profesores quiénes se encargaron de brindarme todo su conocimiento.

Agradezco a toda persona involucrada en el proceso, a quiénes me brindaron herramientas, apoyo emocional y más.

Resumen

La mala gestión del agua a nivel nacional y en general a nivel mundial, ha venido afectando el abastecimiento de ésta en diversas partes del mundo, generando escasez y serios problemas como con la producción de alimentos, salud, entre otros. La agricultura forma parte de un sector que llega a consumir mucha agua, además cuenta con poca regulación de uso, por lo que existen sistemas de riego ineficientes que tienden a desperdiciar el recurso y propagar plagas, contaminar y producir cultivos de baja calidad.

Este informe detalla la investigación realizada y el proceso de diseño llevado a cabo con el fin de desarrollar un sistema de riego eficiente para la cosecha de hortalizas, y que a la vez éste cumpla con los requerimientos técnicos para que se logre el uso adecuado y racional del recurso hídrico. Esto se hizo mediante una metodología de diseño compuesta por cinco etapas definidas que van desde la investigación, conceptualización, creación, prototipo y validación, integrando en una de ellas la metodología IMDI para el diseño de planes estratégicos. Donde a partir de ellos, se obtuvo como resultado un prototipo de sistema de riego nombrado "*Aqua*" diseñado bajo el concepto de simple eficiencia, el cual mediante pruebas de comparación como método de validación logró comprobar su funcionamiento y el ahorro de agua que puede suponer su uso con respecto al sistema comparado, además de cómo se puede implementar mejoras en las pruebas de validación para la comprobación de su efectividad en diversos terrenos y cultivos.

Palabras claves: agua, sistemas de riego, eficiencia, cultivo.

Abstract

Poor water management at the national level and in general at the global level has been affecting water supply in various parts of the world, generating shortages and serious problems such as food production, health, among others. Agriculture is part of a sector that consumes a lot of water, also has little regulation of use, so there are inefficient irrigation systems that tend to waste the resource and spread pests, contaminate and produce low quality crops.

This report details the research conducted and the design process carried out in order to develop an efficient irrigation system for the vegetable crop, which at the same time complies with the technical requirements for the adequate and rational use of water resources. This was done through a design methodology composed of five defined stages ranging from research, conceptualization, creation, prototyping and validation, integrating in one of them the IMDI methodology for the design of strategic plans. The result was a prototype irrigation system named "Aqua" designed under the concept of simple efficiency, which through comparison tests as a validation method was able to verify its operation and the water savings that its use can mean with respect to the compared system, in addition to how improvements can be implemented in the validation tests for the verification of its effectiveness in various terrains and crops.

Key words: water, irrigation systems, efficiency, crop.

Tabla de Contenido

Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	1
Abstract	2
Índice de figuras	5
Introducción	6
PLANTEAMIENTO	8
Antecedentes	9
Justificación	12
Problemática	15
Declaración del problema	16
Árbol de problemas	17
Árbol de objetivos	18
Objetivos	19
Estado del Arte	20
Marco Teórico	26
METODOLOGÍA	40
Marco metodológico	41
Marco metodológico	48
DESARROLLO	54
Investigación y análisis	55
Conceptualización	62
Creación y detallado	75
Prototipado	104
Validación	110
VALOR AGREGADO	113
CONCLUSIONES	115
REFERENCIAS	118
Referencias	119
Anexos	124

Índice de figuras

Figura 1. Uso de agua por actividad económica. Fuente: 2012- 2015 Cuenta de Agua.	12
Figura 2. Árbol de problemas. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 3. Árbol de objetivos. Fuente: Elaboración propia	20
Figura 4. Tipos de sistemas de riego. Fuente: Elaboración propia	28
Figura 5. Riego por inundación. Fuente: prismab.com	29
Figura 6. Riego por surcos. Fuente cenicaña.org.....	29
Figura 7. Riego por aspersión fijo. Fuente obtenida de iagua.es	30
Figura 8. Riego por aspersión semifijo. Fuente obtenida de agroventasriego.com.....	30
Figura 9. Riego por aspersión auto mecanizado. Fuente www.traxco.es.....	30
Figura 10. Riego por goteo. Fuente www.portalfruticola.com.....	31
Figura 11. Riego por goteo subterráneoFuente: vitivinicultura.net	31
Figura 12. Riego por tuberías emisoras. Fuente Manual de riego para agricultores	31
Figura 13. Riego por microaspersión. Fuente: multiserviciosprecisur.com	32
Figura 14. Elementos de un sistema de riego. Fuente: gestiriego.com	34
Figura 15. Clasificación de las hortalizas por familia. Fuente Boletín Informativo N°110 la Huerta	36
Figura 16. Centro de control. Fuente: tourinnovacion.cl.....	37
Figura 17. Estaciones concentradoras. Fuente: docplayer.es	37
Figura 18. Actuadores y sensores Fuente: emerson.com.....	37
Figura 19. Autómata. Fuente: blueberriesconsulting.com.....	38
Figura 20. Controladores. Fuente:prakor.com	38
Figura 21. Invernaderos. Fuente:huertosurbanos.net.....	38
Figura 22. Sensor de lluvia. Fuente: maherelectronica.com.....	39
Figura 23. Sensor de humedadFuente: elconfidencial.com.....	39
Figura 24. Huella Hídrica Fuente elaboración propia	40
Figura 25. Metodología. Fuente Elaboración propia	44
Figura 26. Metodología IMDI. Fuente elaboración propia.....	45
Figura 27. Distrito de San Francisco, Cartago. Fuente: codigo-postal.org.....	46
Figura 28. Metodología IMDI Utilizada. Fuente elaboración propia	50
Figura 29. Escenario Material. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 30. Escenario Transformación. Fuente: Elaboración propia	52
Figura 31. Escenario Consumo. Fuente: Elaboración propia.....	53

Figura 32. Escenario Comunicación Fuente: Elaboración propia	54
Figura 33. Usuario. Fuente elaboración propia	59
Figura 34. Riego superficial. Fuente Freepik	60
Figura 35. Riego por Aspersión. Fuente Freepik	61
Figura 36. Riego por Aspersión. Fuente Freepik	62
Figura 37. Concepto. Fuente: Elaboración Propia	64
Figura 38. Propuesta 1. Fuente: Elaboración Propia	65
Figura 39. Propuesta 2. Fuente: Elaboración Propia	67
Figura 40. Propuesta 3. Fuente: Elaboración Propia	68
Figura 41. Propuesta 4. Fuente: Elaboración Propia	70
Figura 42. Propuesta 5. Fuente: Elaboración Propia	71
Figura 43. Propuesta Final. Fuente: Elaboración Propia	75
Figura 44. Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia	77
Figura 45. Tubería Emisora Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia	78
Figura 46. Red de Tubería Emisora Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia	78
Figura 47. Componentes Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia	79
Figura 48. Bomba y tanque. Fuente: Elaboración Propia	79
Figura 49. Esploso de tubería. Fuente: Elaboración Propia	80
Figura 50. Piezas estándar. Fuente: Elaboración Propia	80
Figura 51. PVC. Fuente: istockphoto.com	81
Figura 52. LDPE. Fuente: envaselia.com	82
Figura 53. HDPE Fuente: elempaque.com	83
Figura 54. Tubería PE. Fuente: aquasoft.com.co	84
Figura 55. Tubería PE. Fuente: aquasoft.com.co	86
Figura 56. Sensor de humedad. Fuente: aquasoft.com.co	88
Figura 57. Aspensor Rotativo Impacto. Fuente: aliexpress.com	90
Figura 58. Aspensor Rotativo Turbina. Fuente: hunterindustries.com	90
Figura 59. Aspensor Plato Rotativo Fuente: eldulcehogar.es	90
Figura 60. Difusor. Fuente: tuandco.com	90
Figura 61. Llave de paso.. Fuente: Aliexpress.com	91

Figura 62. Árbol de funciones. Fuente: Elaboración Propia.....	93
Figura 63. Secuencia de uso. Fuente: Elaboración Propia.....	94
Figura 64. Cierra circular. Fuentecadena88.com.....	95
Figura 65. Herramienta de corte. Fuente: AliExpress.com.....	95
Figura 66. Cegueta. Fuente: monederosmart.com.....	95
Figura 67. Extrusion de plásticos. Fuente: silviatechnology	96
Figura 68. Armado 1. Fuente: Elaboración propia	96
Figura 69. Armado 2. Fuente: Elaboración propia	97
Figura 70. Flujograma de construcción Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia	98
Figura 71. Logo Aqua. Fuente: Elaboración Propia	99
Figura 72. Logo Aqua diseño. Fuente: Elaboración Propia	100
Figura 73. Empaque Aqua. Fuente: Elaboración Propia.....	101
Figura 74. Manual y paquete tecnológico Aqua. Fuente: Elaboración Propia	102
Figura 75. Mupis anuncio Aqua. Fuente: Elaboración Propia.....	103
Figura 76. Cartelera Aqua. Fuente: Elaboración Propia	103
Figura 78. Usuarios y consumidores. Fuente: Elaboración Propia.....	104
Figura 79. Prototipo de tubería emisora. Fuente: Elaboración Propia	106
Figura 80. Plano de tubería emisora. Fuente: Elaboración Propia	107
Figura 81. Collage Partes prototipo. Fuente: Elaboración Propia.....	108
Figura 82. Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia.....	109
Figura 82. Resumen construcción Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia	109
Figura 83. Secuencia de instalación Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia	110
Figura 84. Interacción. Fuente: Elaboración propia.....	112
Figura 85. Secuencia de instalación Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia	114
Figura 86. Resumen de Valor Agregado Aqua. Fuente: Elaboración Propia	116

Índice de tablas

Tabla 1. Involucrados.....	57
Tabla 2. Requisitos.....	63
Tabla 3. Matriz de Selección de Propuestas	73
Tabla 4. Evaluación heurística de propuestas.....	74
Tabla 5. Costos aproximados	111

Introducción

En la presente investigación se detalla el porqué de la importancia de desarrollar un proyecto enfocado en la gestión del recurso hídrico en el sector agrícola del país, específicamente el campo del cultivo de hortalizas. Así mismo como la sobreexplotación y mal uso del recurso ha afectado de manera sistemática al sector y a la población en general, poniendo al límite el abastecimiento del recurso hídrico, donde los productores recurren a técnicas de extracción dañinas para el entorno que resultan contaminantes, además de sistemas de riego antiguos e ineficientes. Por otro lado, la necesidad de que el desarrollo de proyectos y productos a nivel industrial se vaya adaptando a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) planteados por la ONU. En este proyecto se pretenden abarcar puntos importantes de tres objetivos, el objetivo 6 y 12 detallados o abarcados más adelante.

La investigación detalla varios antecedentes internacionales y nacionales importantes sobre la problemática planteada, así como el desarrollo de sistemas y estudios del manejo del agua en plantaciones y en general el sector agrícola, entre ellos se pueden encontrar el desarrollo de sistemas de riego eficientes mediante las TIC'S y la inteligencia artificial, la viabilidad económica de algunos de estos proyectos, y se incluye un estudio de la población perteneciente a este sector y como ven la gestión del recurso hídrico en su comunidad.

A partir de los antecedentes encontrados se da el planteamiento del problema central que se detalla en el documento, además de un acercamiento principal al objetivo general y específicos del proyecto. Así mismo, como parte del proceso de exploración se detalla el marco teórico que contiene conceptos importantes como las diversas técnicas de riego, tecnología y horticultura relacionada al sistema que se desarrolló.

Se continua con la elaboración del marco metodológico, el cual se compone de dos tipos de metodología; la principal es de tipo cualitativo, con un nivel de investigación comprensivo y un enfoque proyectivo, donde se busca una finalidad como proyecto, es decir, no dejarlo solamente como una hipótesis y la metodología bajo escenarios de diseño estratégico.

Una vez concluida la etapa de planteamiento se desarrolla el producto mediante las metodologías antes mencionadas y con la aplicación de técnicas e instrumentos, tales como diseño de personas, creación de conceptos, bocetos, modelado digital, así como prototipado, obteniendo como resultado el sistema de riego "Aqua", un sistema semisubterráneo, especialmente enfocado el ahorro de agua. Así mismo dicho prototipo pasa a la etapa de validación para comprobar su eficiencia y utilidad en el mercado. A continuación se muestran cada una de las etapas del proceso proyectual y su desarrollo.



01 PLANTEAMIENTO

Antecedentes

El agua es un recurso vital que han explotado los humanos para poder llevar a cabo todas las actividades sociales, económicas, agrícolas, entre otros; además un elemento considerado “inagotable” hasta hace unas décadas, tanto en Costa Rica como a nivel mundial. Según la FAO [1] son necesarios alrededor de 2 000 a 5 000 litros de agua por persona para poder producir los alimentos que consume diariamente, esto se traduce a que para el año 2025 aproximadamente dos tercios de la población vivan con algún tipo de estrés hídrico, es decir, que la demanda de agua se mayor a la disponible.

Dicha creencia de que el agua es “ilimitada” provocó que su sobreexplotación se volviera común y las restricciones de uso fueran mínimas, generando un desperdicio masivo de la misma; sin embargo, fenómenos provocados por el ser humano como lo es el cambio climático y la contaminación han comprobado que es cuestión de tiempo, para que el recurso se acabe o no se pueda explotar y ser utilizado en diversas actividades humanas. Así lo detalla el Informe Estado de la Nación 2022, donde indica que el exponencial crecimiento de la población, la falta de ordenamiento territorial, la baja planificación de los centros urbanos, entre otros, han ido degradando las fuentes de agua [2].

En Costa Rica y el mundo, la actividad que consume mayor cantidad de agua es el riego en el sector agrícola (ver figura 1), esto sin considerar el consumo humano que se encuentra en segundo lugar [3], según estadísticas del INEC (Instituto Nacional de Censos y Estadísticas). Aproximadamente un 70% del agua extraída mundialmente se utiliza en la agricultura y el riego [4].

Esta actividad ha traído consigo mucha afectación debido al poco aprovechamiento que se le da al recurso según el tipo de riego y también a la contaminación de las cuencas tanto superficiales, como subterráneas, además es necesario resaltar que esta agua es de **uso consuntivo**¹, por lo que no se le puede dar un segundo uso.

Costa Rica: Uso del Agua por actividad económica, 2013-2018

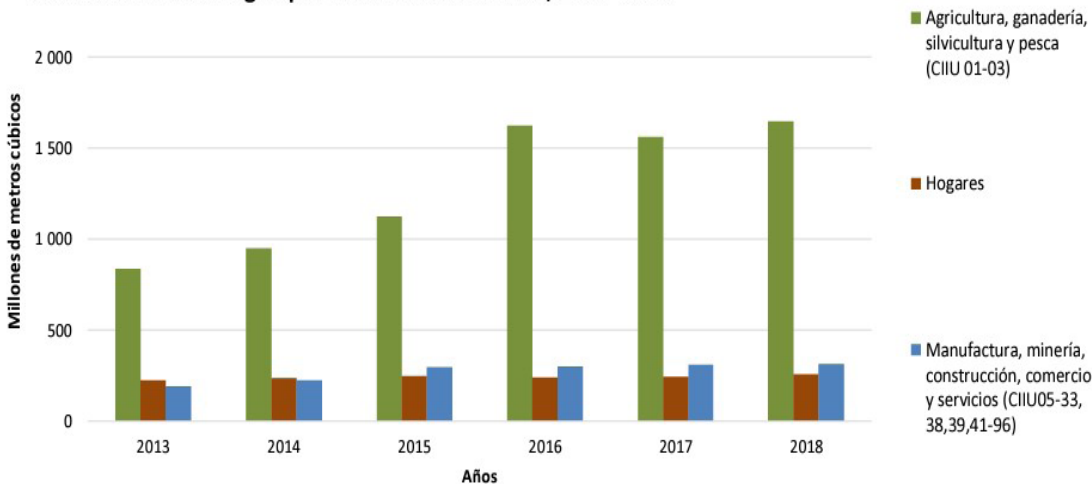


Figura 1. Uso de agua por actividad económica. Fuente: 2012- 2015 Cuenta de Agua. 2016 -2018 Datos CTIE2016

Asimismo, a causa de los datos antes mencionados y otros factores relacionados, se prevé que para el año 2050, el 52% de la población mundial experimente una severa escasez de agua, actualmente se trata de un 40% [5], esto representa casi a la mitad de las personas que habitan la tierra viviendo en condiciones incompatibles con la vida. A pesar, de estos esfuerzos el agua sigue siendo un recurso poco valorizado y su explotación no se ha logrado regular del todo por lo que es necesario enfrentar el problema y sugerir cambios en los sectores que más lo ameriten.

¹ Utilización de las aguas que produce una disminución apreciable de su cantidad, cosa que no sucede en el uso común, general o especial, de las aguas. (RAE)

Como consecuencia de ello, la ONU en aras de mitigar un poco el impacto causado por este desperdicio y contaminación masiva del agua, creó el objetivo de desarrollo sostenible número 6, que dice [6]: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, estos objetivos se crearon con el fin de varias naciones del mundo se unan para poner fin o reducir los principales problemas a los que se enfrenta el planeta y sus habitantes e intentar protegerlo y preservarlo, dichos objetivos no han tenido la respuesta deseada pero siguen impulsándolos y trabajando en ellos.

Por otro lado, Costa Rica posee desde el año 1942, la llamada Ley de Aguas [7], que regula el uso de las aguas del dominio público y privado del país, no obstante, esta ley no se encuentra actualizada por lo que no se ajusta a los planes y uso actual del agua, lo que dificulta en muchos casos la protección y conservación de esta, sin embargo, en el año 2016 bajo el gobierno de Luis G. Solís se creó la Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030, que tiene como objetivo [8]: "Procurar el acceso al agua potable por medio de la protección del recurso hídrico y el fortalecimiento de las capacidades de los actores relacionados con la prestación del servicio, para contribuir a la salud, bienestar y desarrollo del país". Todo esto incluye las aguas utilizadas en el sector agrícola, silvicultura, entre otros, aparte la de uso doméstico e industrial.

A pesar, de estos esfuerzos el agua sigue siendo un recurso poco valorizado y su explotación no se ha logrado regular del todo por lo que es necesario enfrentar el problema y sugerir cambios en los sectores que más lo ameriten.



Imagen tomada de Pexels

Justificación

Conservar y hacer buen uso del recurso hídrico, mantenerlo a salvo y manejarlo de manera adecuada ya sea en los hogares o en diversas industrias y sectores económicos y en especial en las zonas agrícolas, proporciona a largo plazo una sensación de bienestar poblacional y un aseguramiento de acceso al agua para todos.

La escasez y el desperdicio de agua pone en riesgo la seguridad alimentaria del país, así como el desarrollo productivo del mismo, ya que Costa Rica es un país meramente agrícola y dependemos de ello, la economía también depende de exportar productos de diversas plantaciones; que la distribución no sea equitativa para todos los sectores y que muchas familias pierdan su sustento diario al perder su siembra por falta o exceso de agua, es algo que se debe solucionar.

De igual forma, gran parte de la población costarricense no considera que la mala gestión del recurso hídrico como un problema real en el país, contaminando las cuencas y los ríos, gran cantidad de agua se utiliza en el sector agropecuario y los residuos de ésta se ven contaminados por los fertilizantes y se exceden en su uso, esto ocurre en todo Centroamérica, como se señala en [9]: "la contaminación y disminución de la calidad de agua de las fuentes superficiales, ha generado un mayor uso de los recursos hídricos subterráneos, en donde ciudades de gran tamaño dependen de las aguas subterráneas o consumen un gran volumen de éstas...las pequeñas ciudades y las comunidades rurales utilizan con mayor frecuencia aguas subterráneas para su abastecimiento doméstico."

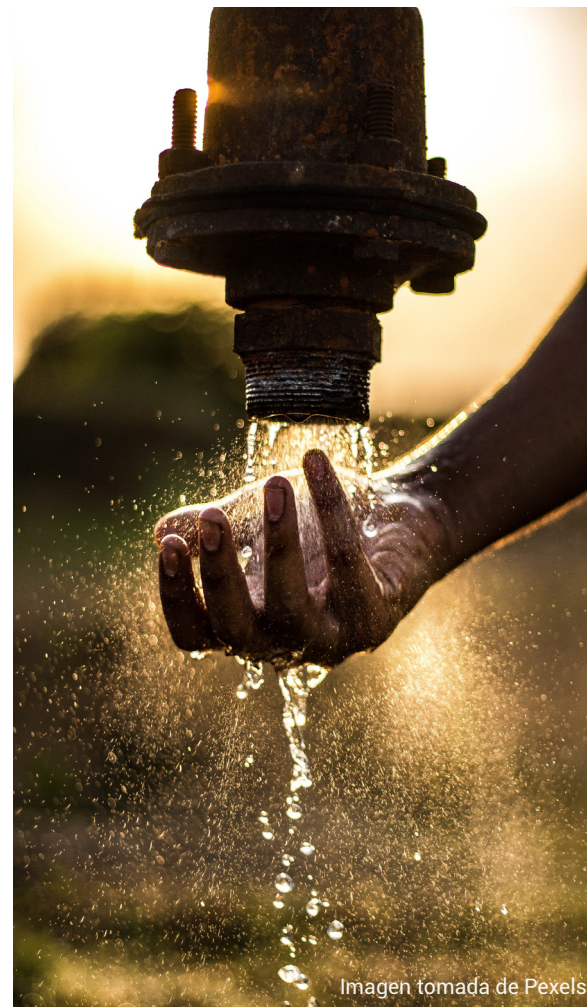


Imagen tomada de Pexels

Sin embargo, en el caso de Costa Rica, según [10] La Huella hídrica del consumo doméstico de agua de un tico alcanza el nivel de 196.8 m³, mientras que en el resto de Centroamérica el consumo llega a los 61,7 m³, lo que quiere decir que, en los hogares costarricenses el gasto de agua es aproximadamente 3,2 veces mayor que el promedio centroamericano, lo cual resulta alarmante.

Además, el objetivo 6 de los ODS también detalla que es absolutamente necesario [6]: “para el 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento...para hacer frente a la escasez de agua.” Esto no solo para el sector agrícola, sino en general, para asegurar a las futuras generaciones este recurso indispensable para vivir, ya que también la expansión de la población pone en riesgo el recurso, por lo que se deben seguir las pautas enfocadas en algunos puntos del objetivo 11 de los ODS, “Ciudades y comunidades sostenibles” y el objetivo 12, “Producción y consumo responsable”, incluir a la población en el buen manejo y mantenimiento del recurso, con prácticas sostenibles podría preservar por más tiempo el acceso seguro al agua.

Asimismo, es necesario que estos procesos de protección y manejo del agua se empiecen a automatizar, que su desarrollo vaya de mano con la tecnología, que se puedan aplicar las TIC's y la inteligencia artificial para optimizar la gestión de ésta, ya muchos países se están centrando en este tipo de tecnologías y es hora de adaptarse.



Foto de Samad Deldar tomada de Pexels

Otro punto importante es que, si se tiene una buena gestión del agua, también se puede lograr una preservación o fortalecimiento de la seguridad alimentaria del país al seguir produciendo nuestros propios alimentos con agua de calidad y sin desperdicio. Adicionalmente, aportar en el desarrollo de la economía, ya que Costa Rica es un país agrícola y principalmente exportador, por lo que muchas familias dependen de ello para subsistir. Proporcionar sistemas eficientes para el consumo de agua, beneficia a todos a corto, mediano y largo plazo, donde se pueda abastecer a más sectores y no exista la posibilidad de negar un recurso universal como lo es el agua.

Debido a lo anterior y a la necesidad mundial de cuidar el recurso hídrico es que, a través de la investigación, se propone diseñar y desarrollar un sistema de riego que haga uso eficiente y consciente del agua, permitiéndole a los agricultores obtener un producto de calidad y disminuir su huella hídrica en el país. Asimismo, en segundo plano, pero no menos importante aportar en la disminución de la contaminación de cuencas.



Foto de Los Muertos Crew tomada de Pexels

Problemática

La producción agrícola y hortícola es una de las actividades económicas más antiguas y prósperas del país teniendo un buen asentamiento en la época colonial, en cuanto a captación y distribución de agua para el riego de los cultivos, por lo que han pasado cientos de años de explotación del recurso [11].

Actualmente el manejo del recurso hídrico en el sector agrícola tanto nacional como internacionalmente ha tenido una mejoría, se han implementado planes para la gestión integral del agua en diversos sectores, uso de nuevas tecnologías, así como análisis e investigaciones de los sistemas de riego y cultivo utilizados, sin embargo, aún hay mucho por hacer. Las actividades de agricultura y ganadería, en general el sector agropecuario y hortícola son los que consumen el mayor volumen de agua y va en aumento, esto según datos provenientes del INEC [12], haciendo así uso desmesurado del recurso en la mayoría de casos, esto trae como consecuencia el uso excesivo y desperdicio de agua, que se contaminen acueductos con los fertilizantes, además de invadir mantos acuíferos con el fin de obtener agua para su riego, dejando a muchas de las comunidades cercanas con muy poca agua para distribuir entre sus habitantes.

La poca regulación y conocimiento por parte de las entidades públicas y en general el sector productivo agrícola ya sea en grandes o pequeñas producciones, ha generado que el abastecimiento de agua sea poco equitativo y que no haya un manejo medioambiental seguro al explotar el agua, provocando así su escasez, contaminación y cultivos de baja calidad. Aunado a esto están los sistemas de riego ineficientes y poco especializados que no poseen una administración correcta del agua en el campo agrícola, esto debido a la desactualización de los productores y las comunidades.

Declaración del problema

No implementar un manejo integral del recurso hídrico en el sector puede traer como consecuencia una afectación en el sistema productivo del país, ya que la economía Costa Rica se basa en gran parte en la exportación de productos de cosecha y siembra agrícola.

Otro punto es que puede poner en jaque la seguridad y soberanía alimentaria del país al presentar una reducción de productos afectando así a la población costarricense, la conservación del agua es esencial para un asegurar el futuro del país en cuanto a consumo y producción.

Debido a todo lo anterior se define como problema principal:

“Mal aprovechamiento del recurso hídrico por falta de información técnica y sistemas de riego ineficientes en la actividad agrícola del cultivo de hortalizas”.

Árbol de problemas

A partir del análisis y diversas investigaciones anteriormente consultadas se realiza un árbol de problemas que se compone de las causas del problema central detectado, así como de sus efectos.

Como se observa en la figura 2 del árbol de problemas, existen diversos factores internos y externos que formulan el problema central; la falta de regulación del agua en las actividades productivas es una de las principales causas del mismo, por la creencia de la inagotabilidad mencionada anteriormente. Además, el grado académico influye en cómo se hace uso del agua en las comunidades y sectores, ya que, si no se conoce bien el sistema productivo, se incurre en gastos innecesarios de agua y pérdidas económicas para el agricultor.

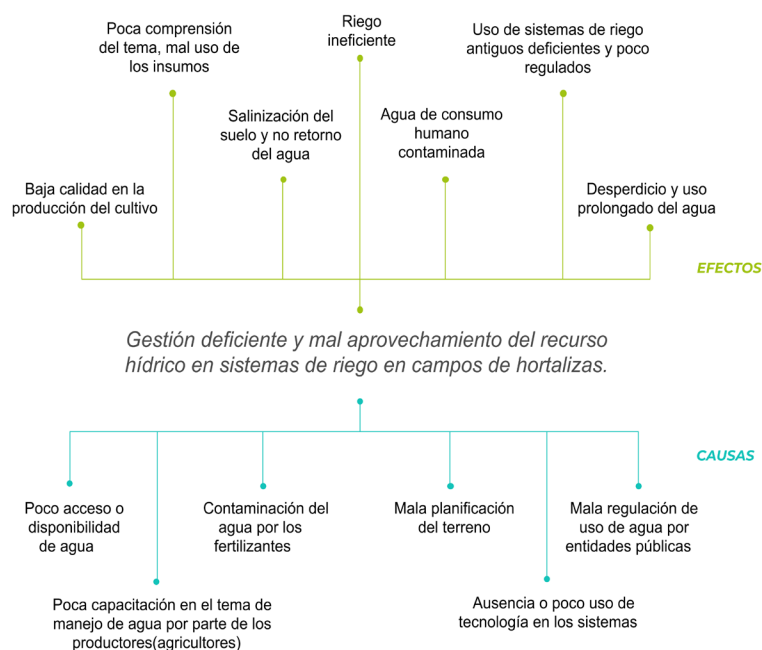


Figura 2. Arbol de problemas. Fuente: Elaboración propia

Árbol de objetivos

Mediante el análisis del árbol de problemas, se busca tomar los problemas identificados y transformarlos en objetivos positivos, en otras palabras, soluciones a dichos problemas, como se puede observar en la figura 3.

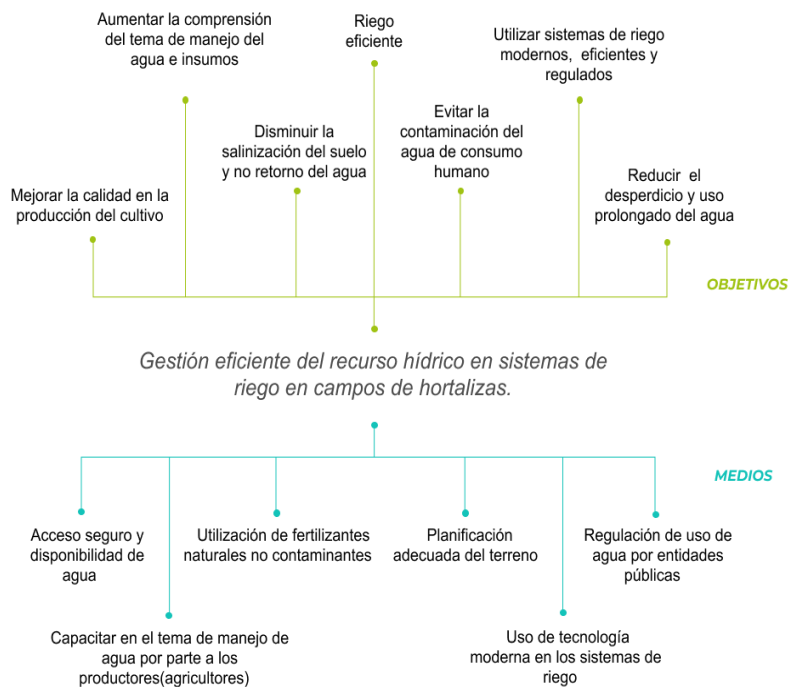


Figura 3. Árbol de objetivos. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar es importante la capacitación de los productores, ya que el estado se ve beneficiado de que los pequeños y medianos productores se capaciten ya que se contribuye con los objetivos de desarrollo sostenible y con el aporte a la industria 4.0, más formación profesional y técnica en estas áreas traen beneficios a los sectores y a la nación en general.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de riego eficiente para la cosecha de hortalizas que cumpla con los requerimientos técnicos que logre el uso adecuado y racional del recurso hídrico en el sector agrícola de Agua Caliente de Cartago.

Objetivos Específicos

1. Aplicar información y requerimientos técnicos de riego, suelo y cultivo de hortalizas en el diseño para el control del estrés hídrico y el equilibrio en el uso del agua.
2. Elaborar la propuesta de un paquete tecnológico del sistema de riego que asegure la eficiencia del mismo a través de los materiales, el ensamblaje, la fácil reparabilidad y su funcionamiento con el fin de resolver la deficiencia de sistemas de riego hechizos utilizados en las plantaciones de hortalizas.
3. Asegurar la facilidad de uso del sistema mediante un diseño simple y sencillo con elementos e interacción intuitiva, enfocado principalmente en usuarios con baja escolaridad cumpliendo con criterios técnicos básicos de funcionamiento.

Estado del Arte

El manejo del agua en el sector agrícola es un tema de sumo interés, tanto a nivel nacional como internacional, esto debido a los riesgos ambientales que se han producido a causa de esta actividad, por ejemplo, la escasez de alimentos por la falta de agua, los suelos lavados, la contaminación de mantos acuíferos por fertilizantes, entre otros. Esto genera que muchos profesionales, realicen proyectos y estudios desarrollando este tema que afecta tanto al ambiente, como al sector económico de los países.

Asimismo, existen diversos estudios que exponen como las poblaciones hacen uso del recurso hídrico en la agricultura, pero no de la valorización de ese recurso. Los investigadores Steven Leiva y Leider León, se dieron a la tarea de realizarlo con su estudio de "El valor del agua de la comunidad agrícola rural La Perla de Macabí Razuri, para la gestión sostenible 2021" [13]. Su estudio tiene como objetivo, determinar el valor del agua en la comunidad agrícola La Perla de Macabi- Razuri para la gestión sostenible 2021, para ello aplicaron encuestas estructuradas, con el fin de comprobar la percepción de cada habitante, además de realizar una ficha de observación.

Entre los resultados, se logró evidenciar que este sector tiene una educación básica, que la mayoría de estos pobladores ven un valor muy alto a nivel ambiental en el agua, además el principal medio de subsistencia es la agricultura, sin embargo, no ven un valor económico alto en la gestión del agua, por lo que su uso en sistemas productivos no está muy regulado. A partir de ello, recomiendan incorporar talleres de capacitación en la comunidad agrícola para una adecuada gestión sostenible. De esta investigación, se puede extraer que la mayoría de estas comunidades han preferido continuar con los sistemas ineficientes por el alto valor económico de las nuevas tecnologías.

De igual forma, en Costa Rica también se presentan diversidad de situaciones con el manejo del recurso hídrico, por ejemplo, un mal manejo de un cultivo puede provocar daños ambientales graves, tal es el caso de la investigación realizada como proyecto de graduación por un grupo de estudiantes de la UNA, Erika Mora, Silvia Santamaría y Rosibel Solano, en el año 2019, titulado [14] “Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq. en los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas, para el periodo 2013-2016”, donde generaron un reporte de la huella hídrica en las plantaciones, debido al gran impacto que la agricultura ejerce sobre los recursos naturales en la zona, especialmente en el agua. Su metodología se desarrolló bajo un enfoque mixto, donde enlazaron tanto datos cualitativos, como cuantitativos para el diagnóstico, las estimaciones y propuestas de mejora.

Su objetivo fue estimar la huella hídrica clásica y extendida de la palma aceitera, en tres plantaciones ubicadas en los distritos del cantón de Osa, con la determinación de la huella hídrica pueden hacer visibles los impactos y establecer oportunidades de mejora, que promuevan un uso racional del agua, adaptando los sistemas de producción agrícola. Con ello, se evidenció que la mala gestión del agua y el uso excesivo de fertilizantes provenientes de los cultivos, contaminan la cuenca que abastece a la zona, además se intensifica con la mala integración de los pobladores y el sector económico que no le prestan mayor atención al impacto generado en los recursos y la poca formación socioambiental.

Con estos resultados proponen regular el uso del suelo e implantar sistemas de riego seguros de fungicidas y fertilizantes. Del estudio se puede extraer que siempre es necesario conocer las condiciones del sector agrícola nacional cercanas a zonas protegidas, ya que ayuda a identificar las distintas problemáticas y en qué puntos el diseño de su actividad es deficiente.

Por otro lado, las llamadas TIC's han contribuido al desarrollo de nuevo productos que mejoran diversos procesos, así lo aplicaron en el proyecto desarrollado en México por Mendoza-Pérez, C et al. [15], llamado "Uso de programa IRRIMODEL para la programación de riego por goteo en el cultivo de (*Zea mays L.*)", las sequías provocaban que se limite las dotaciones normales de agua para riego impactando la productividad, además del desperdicio del recurso.

Utilizando esta nueva tecnología para el riego de IrriModel 2.0 operada bajo internet se realizaron riegos programados para poder medir la eficiencia del producto y los resultados que se podían llegar a obtener del mismo. Entre los resultados se pudo demostrar una eficiencia de aplicación de 91.18%, comparando el riego convencional que oscila en 45%, aunque el equipo puede resultar costoso a corto plazo, el beneficio obtenido a largo plazo tanto económico como ambiental supera esa inversión.

Este proyecto es sumamente relevante para la investigación de la gestión del recurso hídrico en la agricultura ya que aplica la teoría de la industria 4.0 y como este hace más eficiente el cálculo y la optimización en el manejo del agua, sin afectar el sector agrícola, además brinda una idea clara de aplicación de tecnología en el riego.

No obstante, existen zonas que se quedan rezagadas y no tienen un buen acceso a dicha tecnología, tal y como lo especifica Miran Flores en su tesis titulada [16]: "Recursos Hídricos y la producción agrícola de papa en la agricultura en los caseríos de Matupampa y Tambo del distrito de Canta, región Lima- 2015", su investigación se basa principalmente en la falta de agua para la correcta producción de papa en dichas zonas, por lo que la cosecha es muy baja y su regadío solo depende de la lluvia.

Esta investigación tenía como objetivo general determinar la incidencia del Recurso Hídrico en la Producción Agrícola de la papa, siendo una investigación de tipo experimental, realizando diversos análisis documentales, encuestas, pruebas de análisis y validez de esta, a la población de Matupampa y Tambo.

Las conclusiones obtenidas, fue que los riegos tradicionales utilizados por los agricultores de la zona y el abastecimiento de agua único que depende de las lluvias y almacenaje en las lagunas de la zona, esto genera una producción de baja calidad y no abastece la zona, por lo que la autora propone distintos productos para gestionar el recurso hídrico y recomienda la implementación de un sistema de riego tecnificado por aspersión, optimizando la eficiencia de la producción. Igualmente, en Costa Rica hay zonas con poco acceso al agua y sequías constantes, por lo que conocer estas tecnologías ayuda a tener una visión más amplia de los sistemas se pueden implementar dependiendo de la zona e incluso de crear sistemas que funcionen para zonas muy húmedas y secas, adaptando los diseños.

Por otro lado, en Costa Rica han implementado cambios en la industria agrícola y la gestión del recurso hídrico esto con el fin de mantener la conservación de este, además desde el punto de vista internacional Costa Rica resalta por su compromiso con el ambiente. Investigadores de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, de la Universidad de Costa Rica, realizan proyectos que optimizan el uso de agua en diversas plantaciones. En su artículo científico [17]: "Parámetros de manejo del agua en tomates y pimientos hidropónicos bajo invernadero", el objetivo de este estudio fue identificar valores umbrales de humedad en el sustrato, para el manejo del riego durante la etapa de producción de cultivos de chile dulce y tomate en fibra de coco bajo invernadero.

Su metodología es experimental y se basó en distintas pruebas del uso de agua, causando estrés en las plantaciones para medir cuanto caudal era necesario aplicar en cada uno para la obtención de un mejor producto.

Los resultados obtenidos en este experimento prueban que la escasez de agua pura o dulce para riego aumentaría eventualmente el impacto del cambio climático en la agricultura, debido a la reducción de los beneficios de cultivos básicos, por lo que es necesario asegurar la humedad y el riego en tiempos estratégicos, donde las plantaciones absorban de manera más provechosa el agua y esta no se desperdicie.

Esta investigación resulta de gran ayuda para el desarrollo de la investigación, ya que depende del clima y también del tiempo en la que se puede dar un aprovechamiento mayor del agua y evitar cometer desperdicios durante el riego, por lo que la automatización de este parece ser una solución factible para regular su uso.

De igual importancia es el consumo de agua en plantaciones o sectores agrícolas, ya que es considerable y abarca grandes litros del abastecimiento en las comunidades, es por eso que se debe optimizar el uso de este recurso evitando el desperdicio, por dicha razón es que los ahora ingenieros agrónomos Cristian Gavilanes y Andrea Vega, crearon su proyecto [18]: "Diseño de un sistema de riego por goteo para hortalizas en Zamorano, Honduras", donde tuvieron como objetivo principal diseñar un sistema de riego para distintos cultivos, optimizando la producción y aumentando la eficiencia del uso del agua. Su metodología se basa en la experimentación en el uso del producto diseñado, donde buscan solventar y cubrir la necesidad del recurso hídrico en la producción de los cultivos.

Su diseño se basó en las necesidades que presentaban cada uno de los cultivos, por lo que, por ejemplo, para el maíz la cantidad de agua que se abastecía era mayor que el resto de los cultivos. El diseño del sistema de riego cubría la totalidad del terreno en un día, con ocho turnos de riego con una duración de una hora por cada turno. Como se menciona anteriormente en la tesis especifican que [18]: "Las tuberías fueron seleccionadas según los requerimientos del cultivo, la presión y un caudal de 22 m³/h por turno." Esto para no afectar la calidad del producto, todo mediante el uso de tecnología. Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [19]: "su tecnología consiste en siembra en camas, riego por goteo y protección con plástico. Esto último reduce la evaporación...permite que las plantas desarrollen más rápidamente un sistema radicular adecuado".

Los resultados obtuvieron en la investigación fueron buenos, sin embargo, resultó que desarrollar el proyecto presuponía un presupuesto muy alto para los productores, por lo que se debía optimizar para reducir costos y aplicarlo, o identificar la factibilidad solamente en unos cultivos donde si se podía aprovechar bien el diseño del producto.

Por la razón anterior, se debe contemplar el costo de todo el proyecto en el diseño para finalmente implementarlo, este caso es importante ya que, se logró reducir y optimizar el uso del agua para los cultivos, pero el cálculo económico se salió de las manos y puede que el proyecto se quede solo en la fase experimental.

Marco Teórico

El riego es fundamental para el crecimiento de diversos cultivos, ya que es lo que mantiene la tierra húmeda y le permite absorber nutrientes a las plantas manteniéndolas con una buena calidad, como menciona L. A. Gurovich en [20] al riego se le define como: "aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos." Para llevar a cabo el riego a lo largo del tiempo se han diseñado diversos sistemas que de cierta forma automatizan el riego de los cultivos, un sistema de riego es [21]: "conjunto de sistemas estructurales que tienen como objetivo la aplicación del agua para que una zona determinada pueda ser cultivada y lograr el mantenimiento de las plantas". Existen diversos métodos, técnicas y sistemas de riego para el cultivo en el sector agrícola, los cuales se detallan a continuación:

Sistemas de riego

Existen tres tipos principales sistemas de riego, riego superficial, riego por aspersion y riego localizado, con sus derivaciones cada, se detallan en la figura 4.

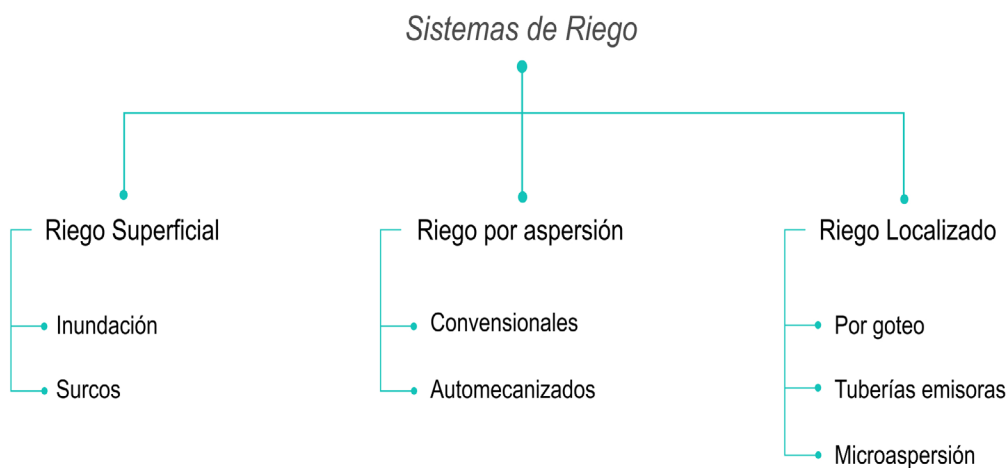


Figura 4. Tipos de sistemas de riego. Fuente: Elaboración propia

1. Riego Superficial

Este riego se refiere a la aplicación del agua dejándola chorrear libremente en canchales por diversos tipos de surcos o dejando una capa de agua, por inundación; por desbordamiento y por escurrimiento. [22]

Se divide en:

- Riego Superficial por inundación

En este tipo de riego (figura 5) se llega desperdiciar mucha agua y se utiliza normalmente en cultivos como arroz, el agua llega al suelo por medio de surcos que se inundan distribuyéndose por el suelo.

- Riego por surcos

Este tipo de riego se realiza con maquinaria que crea surcos en la parcela en forma de hileras, estas hileras se chorrean y quedan llenas de agua (ver figura 6).

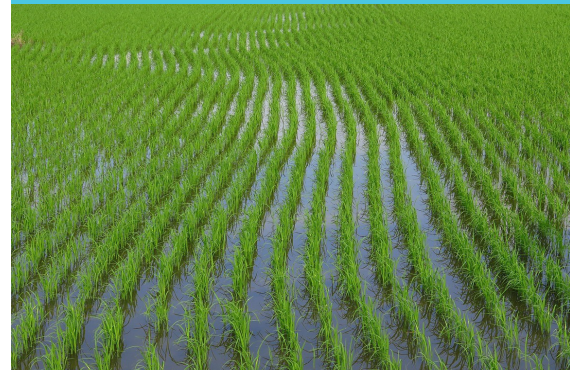


Figura 5. Riego por inundación. Fuente: prismab.com



Figura 6. Riego por surcos. Fuente cenicaña.org

2. Riego por Aspersión

Con este tipo de riego el agua se aplica en forma de llovizna, producida mediante el paso de agua a presión con una pequeña bomba centrífuga a través de tuberías, de las que sale por pequeños orificios [20].

Existe el riego por aspersión convencional y el auto mecanizado.

- **Convencional**

Hay sistemas fijos y semifijos, consisten como se menciona anteriormente en el riego mediante aspersores o bombas centrífugas están se pueden trasladar en el caso de los semifijos o no en el caso de los fijos, en el espacio de la parcela (ver figura 7 y 8).

- **Auto mecanizado**

Como su nombre lo indica, son sistemas que poseen un motor o elemento ya sea eléctrico, mecánico o hidráulico, que le permite moverse por la siembra mientras realiza el riego, se da en procesos más grandes como zonas industriales (ver figura 9).



Figura 7. Riego por aspersión fijo. Fuente obtenida de iagua.es



Figura 8. Riego por aspersión semifijo. Fuente obtenida de agroventasriego.com



Figura 9. Riego por aspersión auto mecanizado. Fuente www.traxco.es

3. Riego Localizado

En cuanto a este tipo de riego, el agua se distribuye mediante las riendas a presión de los llamados sistemas de microrriego, o microirrigación, de forma que el desagüe que se produce no moja toda la superficie del suelo. Esta técnica integra varios métodos, uno a los riegos por goteo y los de microaspersión, también, los aplicados a cultivos hidropónicos [21]. Es una técnica muy utilizada actualmente en invernaderos y sectores de industria de la investigación. Hay tres principales tipos de riego localizado.

- **Riego por Goteo**

Es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta... permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada [20]. El agua se transporta a través de una red de tuberías plásticas hasta cada una de las plantas y se riega por medio de un orificio de pequeño diámetro disminuyendo la presión del agua. Existe el riego por goteo superficial (figura 10) y el riego por goteo subterráneo (figura 11). Son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio, aunque también se usan en cultivos en línea [23].

- **Tuberías emisoras**

Este riego según [23]: "se caracteriza por la instalación de elementos sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido (ver figura 12) y no en puntos localizados como en riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas. Las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes."



Figura 10. Riego por goteo. Fuente www.portalfruticola.com



Figura 11. Riego por goteo subterráneo. Fuente: vitivinicultura.net

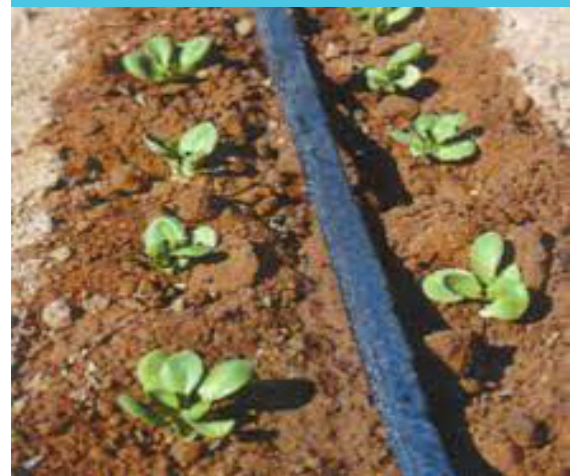


Figura 12. Riego por tuberías emisoras. Fuente [Manual de riego para agricultores](#)

- **Riego por Microaspersión**

En este tipo de riego [23]: "el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor... Se indica para cultivos leñosos o herbáceos de distinto marco de plantación." (ver figura 13)

Estos sistemas de riego antes mencionados son aplicables a cualquier tipo de producto agrícola, sin embargo, la investigación está centrada en el cultivo de hortalizas, por lo que es necesario conocer cómo se componen estos sistemas o sus elementos esenciales y el concepto de horticultura.

Elementos de un sistema de riego

Para cada uno de los sistemas detallados anteriormente existe la tecnificación del riego, para obtener mayor beneficio del agua y no incurrir en el desperdicio de esta, la inclusión de tecnología en los métodos de riego aumenta cada vez con el fin de lograr un mayor aprovechamiento de todos los recursos involucrados, sin embargo, los sistemas de riego tienen elementos en común que los componen. Los cuales son [24]:

1. Sistema de bombeo

Está compuesto de una bomba con un motor que puede ser mecánico o eléctrico, para elevar el agua, cuando la extracción de agua se da en pozos o ríos se instala una válvula de pre-filtro. Va a depender del acuífero que la bomba sea sumergida, vertical, horizontal o monoblock. Es necesario conocer el caudal y la presión para abastecer la instalación de riego para calcular la potencia de la bomba. Además, suele contener un equipo de fertilización que nutre la planta, contiene un dosifica y un agitador.



*Figura 13. Riego por microaspersión.
Fuente: multiserviciosprecisur.com*

2. Equipo de filtrado

Se compone de un filtro de malla que son colocados después de la impulsión para eliminar las impurezas que contiene el agua de riego. Además de un filtro "caza piedras" que impide el paso de partículas de mayor tamaño.

El sistema de bombeo, el equipo de filtrado y fertilización componen el **cabezal de riego**

3. Dispositivos o elementos de control y maniobra

Estos dispositivos necesitan una fuente de energía para poder funcionar. Entre ellos:

Los manómetros para conocer la presión, generalmente se coloca uno a la entrada del cabezal de riego y otro a la salida, además de disponer de otro en cada unidad de riego.

Medidores de caudal se utilizan para conocer el volumen de agua que circula por la instalación de riego en un tiempo determinado.

Electroválvulas o válvulas hidráulicas para abrir o cerrar el paso del agua.

Programadores de riego, encargados de manejar de forma automática el riego.

Válvulas de ventosa, eliminan el aire que se pueda acumular en las tuberías.

4. Red de tuberías

Tubería de distribución, generalmente de PVC que conduce todo el caudal de agua necesario desde el cabezal de riego hasta las subunidades de riego. Subunidades de riego en que se divide la parcela. Tuberías terciarias normalmente en polietileno para ramales de riego de aspersion enterrada o goteo.

En la figura 14, se describe como se compone un sistema de riego y sus elementos.

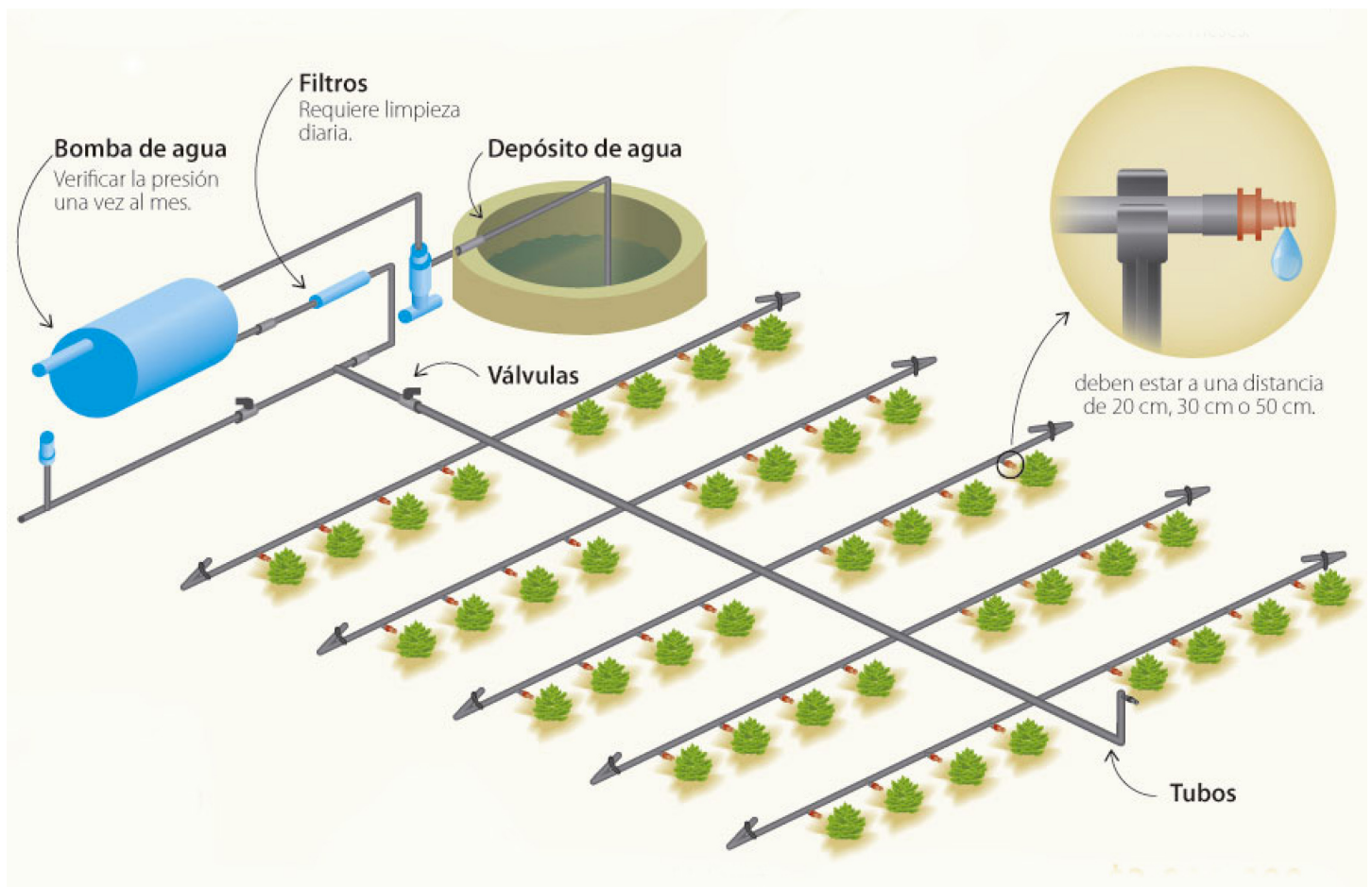


Figura 14. Elementos de un sistema de riego. Fuente: gestiriego.com

Horticultura

La horticultura se refiere al cultivo de distintas especies de plantas en huertos o parcelas, la real academia española la define como [25]: “Conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de los huertos y de las huertas.”, a su vez definen al huerto como [26]: “Terreno de corta extensión, generalmente cercado, en que se cultivan verduras, legumbres y árboles frutales”. Es necesario reconocer el tipo de hortalizas que se producen en la zona agrícola costarricense y su importancia en la alimentación de los ticos. Entonces, ¿Qué es una hortaliza?, en la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas definen que las hortalizas incluyen [27]: raíces, tubérculos, brotes, tallos, hojas, frutos y flores de plantas comestibles y principalmente anuales.

La horticultura en Costa Rica se concentra principalmente en el Valle Central, a pesar de ser un país muy pequeño, se presentan varios microclimas, esto permite el desarrollo de muchas actividades agrícolas con muchos cultivos diferentes adaptados a las condiciones climáticas imperantes en cada zona; por ejemplo, el café, granos básicos, hortalizas, la caña de azúcar, palma aceitera, y algunos de exportación como la piña y el melón, entre muchos otros. [28]

Así mismo, los principales productos hortícolas producidos son: el chile, tomate, chayote, ayote, frijol, maíz, papa, yuca, tiquisque, camote, ajo, apio, remolacha, repollo, cebolla, brócoli, espinaca, lechuga, zanahoria, perejil, etc.

Estos productos pertenecen a varias familias y tienen su propia clasificación que se observa en la figura 15.

a. Clasificación por familia

Familia	Hortaliza
Araceae	Tiquisque, ñampi
Compositaceae	Lechuga
Convolvulaceae	Camote
Cruciferae	Repollo, coliflor, brócoli, mostaza, col de bruselas, rábano.
Curcubitacea	Ayote, zapallo, melón, pepino, chayote, tacaco, sandía
Chenopodiaceae	Acelga, remolacha, espinaca
Euphorbiaceae	Yuca
Leguminosae	Frijol, gandúl, arveja, vainica
Liliaceae	Ajo, cebolla, cebollín, chalote, puerro, espárrago
Solanaceae	Berenjena, chile, tomate
Umbelliferae	Apio, culantro, eneldo, hinojo, perejil, zanahoria.

Figura 15. Clasificación de las hortalizas por familia. Fuente Boletín Informativo N°110 la Huerta

Es de suma importancia conocer la anterior clasificación en lo que respecta a la rotación de cultivos, ya que no deben sembrarse en el mismo lugar o a poca distancia, la misma hortaliza u otras de la misma familia. Lo anterior, agota el suelo y ayuda la aparición de enfermedades y plagas [29]. Además, a estas hortalizas no se les puede aplicar cualquier tipo de sistema de riego ya que requieren humedades específicas según sea, ya que una hortaliza no es lo mismo que una fruta, por lo que tienen sistemas de riego que se adaptan mejor a ellas.

Es por ello que, según [29], el riego en las hortalizas debe ser frecuente y ligero, que el agua vaya directamente al suelo para evitar daños en el follaje de la hortaliza, y se debe regar de preferencia a primeras horas de la mañana o en horas de la tarde, esto debido a que en horas donde el sol está más fuerte la transpiración de la planta aumenta y hay mayor evaporación del agua del suelo. No se recomienda el riego por gravedad o superficial ya que hay mayor desperdicio de agua y aumenta la posibilidad de enfermedad en la planta.

Tecnología en la producción de hortalizas

Como parte de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible, es importante incluir tecnologías ya sean innovadoras o no que aporten en el desarrollo del proyecto, optimizando tiempos y mejorando la producción de hortalizas, ya sea en tecnología para el riego o para el huerto en general. A continuación, se detallarán algunas de las tecnologías que pueden ser aplicadas y que se definen en [30], además de otras más típicas.

Centro de control

Mediante un software Centro de Control se gestionan los procesos de riego y supervisión, a través de un monitor que controla y regula las acciones.

Estaciones Concentradoras

Gestiona el total de las órdenes de apertura y cierre de válvulas enviadas, la adquisición y almacenamiento de datos de la red de riego y de la red de telecontrol, para su posterior transmisión al Centro de Control, mediante una tarjeta microcontroladora que tiene la suficiente memoria y poder de decisión.

Actuadores y sensores

Los actuadores más comunes son electroválvulas de bajo consumo, que actúan sobre las válvulas hidráulicas de agrupación, las de salida a parcela e incluso las de sector de riego, existente también las válvulas motorizadas y los motores para el accionamiento de compuertas.

Como sensores y elementos de captación de señales están los contadores, que mediante un emisor de pulsos captan el volumen de agua medida.



Figura 16. Centro de control. Fuente: tourinnovacion.cl

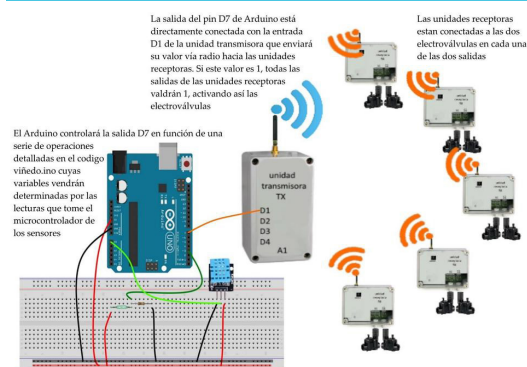


Figura 17. Estaciones concentradoras. Fuente: docplayer.es



Figura 18. Actuadores y sensores. Fuente: emerson.com

Autómatas de uso general

Es una maquinaria con una programación determinada y adaptada al control del punto de riego.

Controladores específicos por radio

Son dispositivos basados en microcontroladores comunicados por radio con capacidad de almacenar programas de riego por tiempo o caudal, se puede utilizar la telefonía móvil. Están optimizados para bajo consumo alcanzando por lo general más de 1 año de funcionamiento a pilas. Tiene menor expansión que un autómata de uso general.

Invernaderos

En [31] se menciona que: "los invernaderos controlan mejor las variables de producción de los cultivos, como son el riego, la aplicación de fertilizantes, el manejo de la biomasa del cultivo a través del tutorado, la poda y el uso de sustratos para cultivo (en caso de no usar el suelo). Con esta tecnología se facilita la implementación de equipo y uso de materiales para modificar el ambiente, como lo son los ventiladores, los muros húmedos, el piso de color blanco para reflectancia de luz entre otros, el invernadero también permite la automatización de algunos procesos por medio de dispositivos electrónicos de control como programadores de riego." Los invernaderos son muy utilizados para el cultivo hidropónico y para investigaciones en biotecnología.



Figura 19. Autómata. Fuente: blueberriesconsulting.com



Figura 20. Controladores. Fuente: prakor.com



Figura 21. Invernaderos. Fuente: huertosurbanos.net

Sensores electrónicos

Actualmente con el avance tecnológico, se han creado sensores de todo tipo que le permiten a los agricultores optimizar el proceso y mejorar la producción, estos sensores son programados mediante sistemas como el Arduino o distintos controladores, entre los sensores se encuentran:

- **Sensor de lluvia**

Estos detectan la presencia de lluvia y su presión, al entrar en contacto con el sensor.

- **Sensor de humedad**

Miden la humedad tanto del suelo, como del ambiente y también la temperatura percibida.



Figura 22. Sensor de lluvia. Fuente: mahe-relectronica.com



Figura 23. Sensor de humedad
Fuente: elconfidencial.com

Huella hídrica

Es importante conocer la cantidad de agua que se invierte en este tipo de cultivos, para poder realmente reducir ese consumo en un posterior diseño de sistema de riego, sin embargo, como primer paso es necesario definir que es la huella hídrica y sus tipos. Se define como [32]: “un indicador del uso del agua dulce que toma en cuenta el uso directo del agua por parte de un consumidor o productor y el uso indirecto del agua... puede considerarse un indicador completo de la apropiación de los recursos de agua dulce, junto a la medida tradicional y restringida de la extracción de agua”

Esta se divide en tres tipos de huellas, detalla en la figura 24:

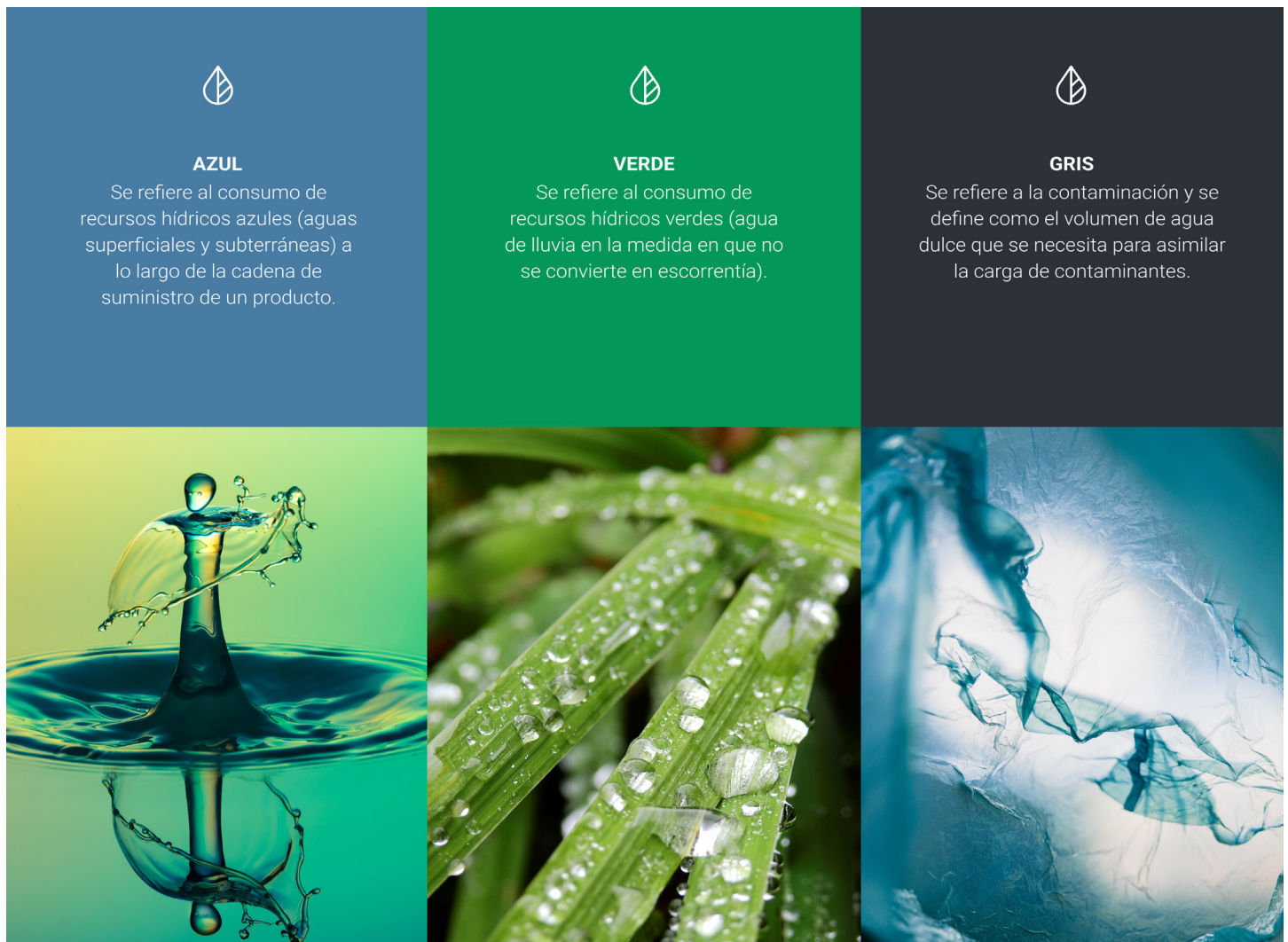


Figura 24. Huella Hídrica Fuente elaboración propia

Estrés Hídrico en los cultivos

Estrés hídrico se refiere al efecto que se produce cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible, ya sea en cantidad o calidad. En los cultivos se le denomina estrés hídrico a la poca disponibilidad de agua en el suelo, lo que puede ocasionar que se evapore más agua de la que es absorbida por las raíces, esto afecta el crecimiento del cultivo y su calidad en sí [34]. Este concepto ha empezado a ser más reconocido en los últimos años y forma parte de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible, donde se busca disminuirlo.

Paquetes Tecnológicos

Con el desarrollo de diversas herramientas y el surgimiento de diversas tecnologías que puedan ser accesibles para todos, surgen los llamados paquetes tecnológicos, que vienen a ser un método de ayuda, crecimiento y enseñanza para diversos usuarios y empresas de distintas áreas, entonces como se puede definir: un paquete tecnológico es un conjunto de conocimientos científicos, empíricos y comerciales, procesados y sistematizados, con los que es posible implementar, operar, producir y/o distribuir un bien o servicio, nuevo o mejorado [35].

Algunos elementos con los que puede contar un paquete tecnológico son: Bases científicas de la tecnología, Diseño e ingeniería del producto, Factibilidad técnica y operativa Métodos de fabricación, ensamblaje y montaje, Experiencia de su funcionamiento y aplicabilidad, Costos de implementación, operación y mantenimiento, normas nacionales e internacionales, Mecanismos de protección intelectual, Herramientas de gestión empresarial conexas, Instructivos para personal que labore con la tecnología, Guía de puesta en marcha industrial y comercial Plan de mercadotecnia a todo nivel, Fortalezas y ventajas técnicas y económicas para consumidores, Evaluación económica, Valoración de la tecnología.



02 METODOLOGÍA

Marco metodológico

El desarrollo del marco metodológico es fundamental para el progreso del proyecto, ya que con éste será dirigida toda la investigación que se llevará a cabo, así como la aplicación de las diversas herramientas y técnicas de recolección de datos. En el marco metodológico se define la población involucrada en la que será enfocada la investigación. Con ello se pretende cumplir el propósito del estudio, el cual es lograr un diseño óptimo de un sistema de riego para la producción de hortalizas, que haga uso eficiente del agua y que cuente con un buen almacenamiento para la misma, el objetivo es preservar el recurso hídrico y asegurar el alimento, así mismo, entender la relación existente entre cada variable en el proceso.

Por lo que los alcances del proyecto planteados incluyen desarrollar un prototipo a escala del sistema de riego diseñado, el documento de investigación y plantear una estrategia para su aplicación en campos de hortalizas.

El presente estudio se enmarca en un enfoque de investigación de tipo cualitativo, un enfoque cualitativo [36]: "utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación." El enfoque cualitativo es muy parecido a las metodologías de diseño, es decir, es un proceso reiterativo. La idea principal es recolectar todos los datos que sean necesarios para poder plantear y desarrollar el problema y la ejecución del proyecto. El objetivo del estudio cualitativo como se detalla en [36] es conseguir datos que se traducirán en información, ya sea de personas, comunidades, contextos ... Al tratarse de seres humanos los datos que interesan son conceptos, percepciones, entre otros.

Así mismo el nivel de investigación que será utilizado es el nivel comprensivo [37], con este nivel se crean explicaciones, dónde no solo se observan características de forma más o menos explícita, sino que se empiezan a realizar diversas conexiones entre varios sucesos y situaciones, a partir de las cuales se pueden formular dichas explicaciones. En el caso de esta investigación este nivel comprensivo será de tipo proyectivo, lo que quiere decir que se plantearán y propondrán soluciones a los diversos problemas, no se quedarán solo en hipótesis, dicho de otra forma, busca alcanzar un fin y un objetivo. En [38] indican que: "La investigación proyectiva involucra creación, diseño, elaboración de planes, o de proyectos; ...Para que un proyecto se considere investigación proyectiva, la propuesta debe estar fundamentada en un proceso sistemático de búsqueda e indagación que requiere la descripción, el análisis, la comparación, la explicación y la predicción." En la sección de objetivos detallados en este documento, se puede verificar que están enfocados a este tipo de investigación, ya que, mediante el proceso cualitativo de recolección de información, de comprender y explicar los fenómenos encontrados para poder llegar a diseñar el producto o servicio que solucione el problema planteado.

Se utiliza el siguiente esquema del proceso proyectual definido en la figura 25, el cual brinda una guía coherente de los pasos y etapas a cubrir para desarrollar el producto, el proceso es iterativo por lo que durante la realización del proyecto se puede volver a alguna etapa. Las etapas definidas son Investigación y análisis de información, Conceptualización, Creación y detallado de la propuesta, Prototipado y por último Validación.



Figura 25. Metodología. Fuente:
Elaboración propia

Igualmente, a esta metodología de investigación en la sección de detallado se le sumará la metodología de diseño estratégico que se plantea con el Modelo IMDI del Instituto Metropolitano de Diseño e Innovación por Paulina Becerra [39]. Este modelo, permite y propone la organización de variables claves para el proceso de diseño en un sistema que se divide de cuatro grupos conceptuales llamados escenarios, el detalle en la figura 26:

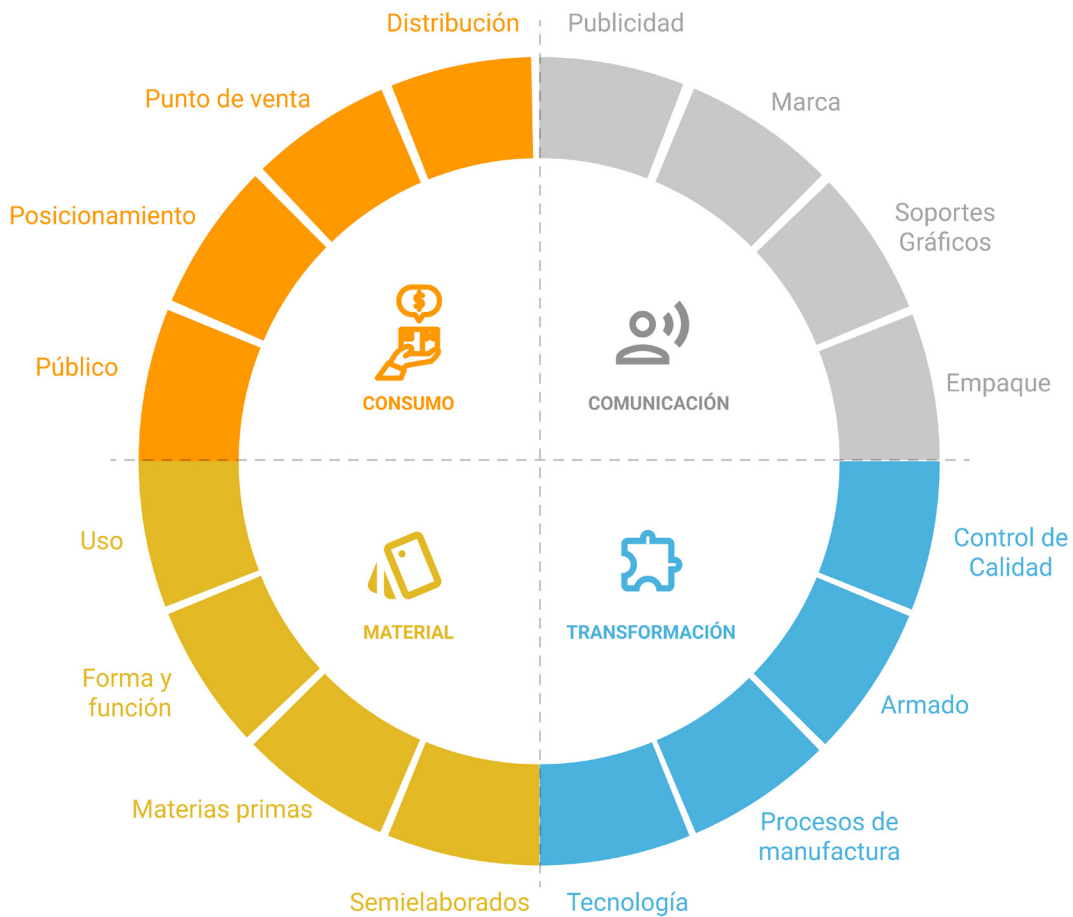


Figura 26. Metodología IMDI. Fuente elaboración propia

Sujetos de investigación

- Población

Se establece como población a los habitantes, agricultores y productores de hortalizas de la zona de Lourdes y Agua Caliente, en la provincia de Cartago, cantón Central, distrito San Francisco (ver figura 27). Se determinó a la zona de Cartago como una de las zonas más fuertes en la producción de hortalizas del país, como se menciona en [40] el jerarca del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) aseguró: "Cartago es la provincia donde se cultiva el 85% de las hortalizas que consumimos los costarricenses." Así como a expertos e ingenieros expertos en el tema.

- Muestra

Al ser una investigación cualitativa, la muestra será de tipo no probabilística esta se define en [42] como: "Subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación." En donde se realizará un análisis general de los resultados, se utilizarán diversas técnicas de muestreo como por casos típicos, que consiste en [42] elegir personas o grupos que representan el o los casos más frecuentes del tema estudiado; en este caso, un ejemplo de los sujetos son los agricultores de baja escolaridad, productores de hortalizas y la población aledaña a las plantaciones. El muestreo intencional [41] donde se seleccionarán a los sujetos que se crean pueden brindar información que apoye o refuerza el proyecto, un ejemplo son los ingenieros agrícolas y expertos del área, además del muestro de cadena [42], que consiste en entrevistar o seleccionar a un grupo y luego pedir referencias de otros sujetos extendiendo la muestra, esta será utilizada ya que se considera que puede haber muchos involucrados que puedan brindar información importante y que sea relevante. Algunos de estos tipos de muestreo se pretenden mezclar o combinar para tener mayores y mejores resultados en los datos recolectados.

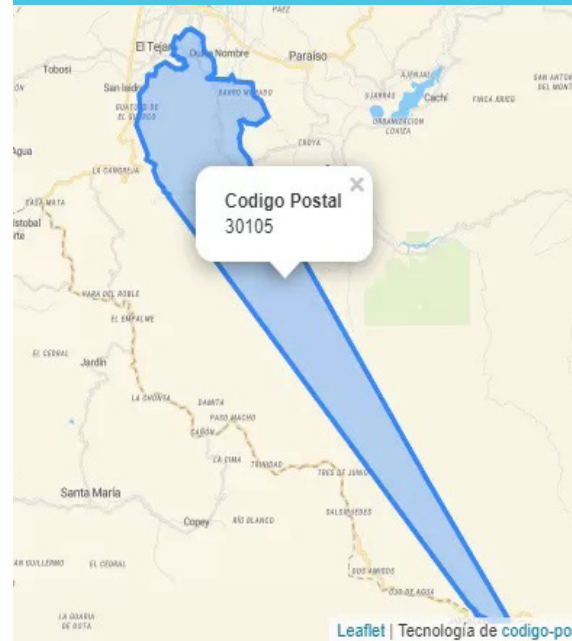


Figura 27. Distrito de San Francisco, Cartago. Fuente: codigo-postal.org

Otras fuentes de información

Otras fuentes que serán consultadas para obtener mayor recaudación de datos e información:

- **Documentos escritos**

Tanto libros como artículos que contengan información relevante que no haya podido ser recaudada. Por ejemplo: la medición de caudales, cantidad de lluvia, métodos de riego y siembra, etc.

- **Fichas técnicas**

Ya sean manuales o documentación técnica sobre algún tipo de maquinaria o equipo que resulte útil y se puede aplicar. La innovación en tecnología es cada vez más compleja por lo que se comprende que un experto no conozca el 100% de un tema o equipo.

- **Videos y fotografías**

Referentes al tema y problema en investigación, así como descripciones de tecnologías entre otros. Entre ellos videos de distintos riegos y tipos de plantaciones, sistemas autómatas, etc.

- **Censos**

Son una herramienta útil para conocer datos sobre la población en estudio, además de otros aspectos referentes a la agricultura, el agua, entre otros.

Técnicas e instrumentos para recolectar información

El siguiente paso consiste en recolectar los datos sobre las variables definidas en el punto anterior, es necesario recabar y reunir los datos que sean pertinentes para poder realizar una buena investigación que permita cumplir el objetivo general del proyecto y satisfacer las necesidades de los involucrados.

Los instrumentos que se aplicaran forman parte tanto de la metodología de investigación cualitativa como la del enfoque del diseño centrado en el usuario, entre los instrumentos utilizados para hacer la recolección de datos de las variables se utilizarán:

- **Entrevistas**

La entrevista consiste en una reunión presencial o virtual con la finalidad de que una persona (el entrevistador) obtenga información de parte de otra (el entrevistado) [42].

Para investigaciones cualitativas son un poco más abiertas, por lo que su duración es mayor que la de una más estructurada y condicionada. Es bueno realizar algunos pilotos antes de aplicarla a los usuarios o participantes reales para corregir errores. Es importante que no se sesguen las respuestas de los participantes, para obtener información más verás y "limpia".

- **Análisis de tareas y observación (Task Analysis)**

Consiste en describir las secuencias de las acciones que se realizan en una actividad en específico, donde se permite que haya una comprensión a nivel cognitivo y físico de cómo el usuario desarrolla sus tareas y cumpliendo sus propósitos [39]. La importancia de aplicar este instrumento es poder observar la interacción con el sistema de riego que se tiene en el huerto, la usabilidad y la utilidad que le representa al usuario, esto con el fin de hallar puntos de mejora o puntos a seguir en el diseño del nuevo producto que sean realmente de provecho y optimicen su uso, así como su función.

- **Revisión de expertos (Informal expert review)**

Este método como detalla [43] se basa en contactar a un experto del producto o técnica, para que evalúe el producto que se está desarrollando (en este caso el que se ya se encuentra desarrollado); el experto determina los problemas que deben ser arreglados. Dicho experto puede brindar recomendaciones ya sea en una reunión o conversación, hasta un documento o reporte de lo que observó.

Esta técnica brindará datos técnicos que pueden ser desconocidos por los mismos agricultores, así como por el investigador, lo que aportará más formalidad y técnica a la hora de detallar y diseñar el nuevo producto.

- **Creación de prototipos**

Es un método que ayuda a simular el funcionamiento del producto, sirve para probar las diversas funciones que posee, así como realizar pruebas con los usuarios para poder realizar validaciones de sus características. Esta técnica es de suma importancia para el perfeccionamiento del diseño del producto y el cumplimiento de objetivos.

Marco metodológico

A partir de la investigación y análisis desarrollado, se propone y realiza la selección de los escenarios del diseño estratégico. Se propuso desarrollar las variables que se consideran fundamentales para el desarrollo del proyecto se abarcan parcialmente los cuatros escenarios que presenta esta metodología; las variables a desarrollar en cada escenario se detallan a continuación en la figura 28, los colores más saturados son las variables con las que se va a trabajar.

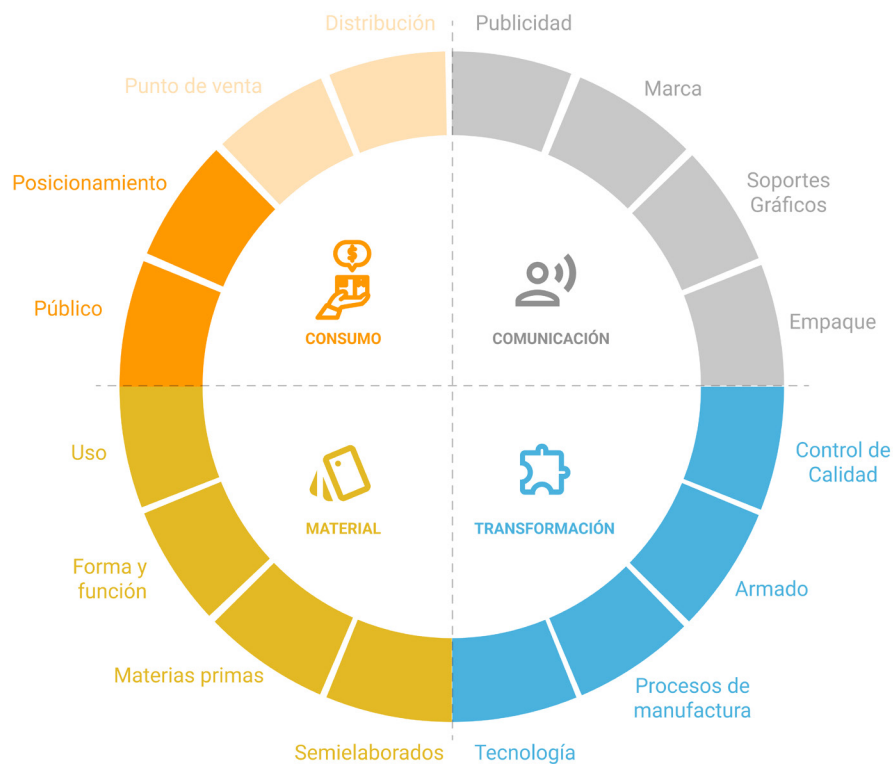


Figura 28. Metodología IMDI Utilizada. Fuente elaboración propia

Escenario Material

En este escenario se vuelve fundamental desarrollar la mayoría de sus variables, ya que en esta sección se presenta la materialidad del producto, su uso que es un tema de sumo interés para solucionar la problemática planteada, el emplear materiales semielaborados que en el caso del presente proyecto se utilizan en gran cantidad, debido al planteamiento del paquete tecnológico. A continuación, se justifica el uso de cada una de esas variables.

- **USO**

El producto debe contar con características de uso simples, donde el nivel de usabilidad y satisfacción al utilizarlo sea alto, que no le genere mayor carga cognitiva al usuario. Además de contar con un manual simple de secuencia de uso que le permita al usuario objetivo guiarse y cumplir con la tarea. La interacción debe ser intuitiva y brindar un grado de seguridad de uso, el objetivo es que cometa la menor cantidad de errores y aumente la eficiencia del producto y la actividad que está realizando.

- **MATERIAS PRIMAS**

Variable de vital importancia, ya que el producto debe contar con un material que sea resistente a la intemperie y las condiciones climáticas, así como el uso constante del mismo, esto sin dañar el cultivo. Además, deben ser accesibles y que en la medida de lo posible no genere un alto impacto ambiental.



Figura 29. Escenario Material. Fuente: Elaboración propia

- SEMIELABORADOS

Al tratarse de un producto ya existente y que se pretende “rediseñar” aumentando su eficiencia, por lo que la mayoría de sus piezas constará de productos semielaborados, que son posibles encontrar en el mercado, así que es necesario investigar los semielaborados que funcionarán y se adaptarán de la manera deseada al producto.

- FORMA-FUNCIÓN

Variable de vital importancia, ya que el producto debe contar Es necesario detallar esta variable con el fin de que se comprenda cómo funciona el producto y por qué su forma debe seguir a la función determinada para obtener los mejores resultados. A pesar de que la mayoría de su forma sea tubular, existen algunas variaciones que son necesarias dar a comprender.

Escenario Transformación

Para el desarrollo del proyecto se prepara un paquete tecnológico que tendrá incluida cada una de las variables de este escenario, por lo que su abordaje de manera clara es muy importante con el fin de satisfacer las necesidades que el usuario requiera.

- TECNOLOGÍA

El uso de tecnología ya sea en la fabricación de alguna pieza o por componentes en sí del producto son indispensables para lograr el objetivo, un sistema semi-automatizado facilitará el trabajo de los agricultores, así como la comprensión del producto.

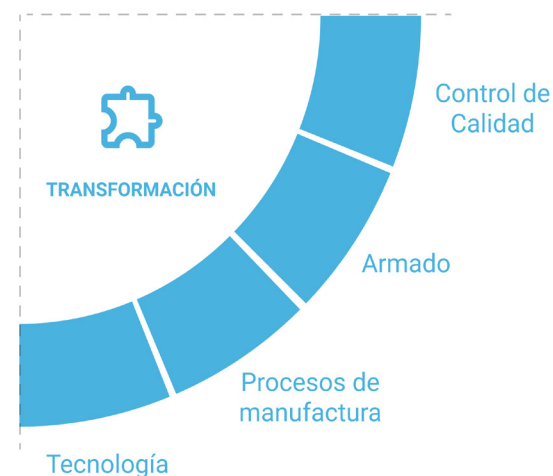


Figura 30. Escenario Transformación.

Fuente: Elaboración propia

- PROCESOS DE MANUFACTURA

Es importante conocer cada proceso de manufactura involucrado de las materias primas, además un mapeo puede especificar cada paso necesario para poder obtener el producto que se diseñó, además sirve para verificar tiempos y costos que son puntos muy importantes para las empresas.

- ARMADO

Desarrollar esta variable permite integrar el proceso de armado al manual mencionado en el escenario anterior, el objetivo es que cualquier persona que adquiera el paquete tecnológico del producto pueda armar por sí solo y que sea accesible, por lo que aplicar una técnica de armado más segura y sencilla subirá el grado de usabilidad del producto. Y que, además, permita un armado tipo "escalonado", es decir, que puedan empezar de algo pequeño y que se pueda ir agregando más sistemas a la finca o lugar de siembra.

- CONTROL DE CALIDAD

Contar con las medidas pertinentes de uso, armado, uso de materiales, estructura entre otros correcta, permitirá llevar un control de calidad del producto para que cumpla con la eficiencia del riego y no desperdicie agua, además ayudará a que el producto perdure más en el tiempo.

Escenario Consumo

Punto importante donde se busca posicionar el producto y que se haga conocido, donde el principal objetivo es abarcar la mayor cantidad de puntos donde se esté dando el mismo problema.

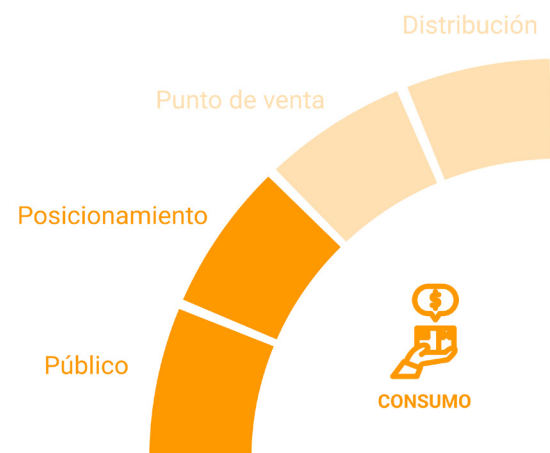


Figura 31. Escenario Consumo. Fuente: Elaboración propia

- PÚBLICO

Comprender el público meta para el que se enfoca el producto es de vital importancia, por lo que se realizará una caracterización de estos, ya que es quién o quiénes adquirirán el producto para que su usuario o consumidor haga uso de él. Satisfacer sus necesidades es prioridad, por lo que, si se cumple con ellas, es posible que este publicite el producto y lo recomiende, ampliando el rango de personas que deseen adquirirlo.

- POSICIONAMIENTO

Lograr una ventaja competitiva con respecto a los productos similares del mercado es necesario, ya que muchos de los otros se enfocan en obtener ganancias y verse beneficiados, en lugar de promover un consumo de agua responsable. Por lo que resaltar el valor agregado del producto ya sea económico, ecológico o social ayudará a escalar en el posicionamiento y solucionar en alguna medida la problemática del tema ambiental.

En este escenario se prescinde del desarrollo de la variable **distribución y venta** ya que como se menciona anteriormente es un producto diseñado con el fin de beneficiar a los usuarios y brindarles un diseño que puedan adquirir sin costo.

Escenario Comunicación

En el escenario de comunicación se ve reflejado como se comunica el producto con el clientes y consumidores, la forma en la que comunica al cliente cada una de sus características, como se publicita y vende. En este producto es esencial dejar claro la forma de uso y configuración a los posibles usuarios por lo que se destaca la siguiente variable.



Figura 32. Escenario Comunicación.

Fuente: Elaboración propia

- **SOPORTES GRÁFICOS**

El producto debe contar con un manual de uso, funcionalidad, configuración y armado que sea simple y sencillo de comprender, elaborado principalmente de gráficos y guías que permitan una clara comprensión del producto.

- **MARCA**

Desarrollar una marca ayuda a identificar el producto y además que sea reconocido, esto va a ayudar a que se extienda en el mercado y se genere un mayor impacto en el sector agrícola en cuanto el uso eficiente del agua.

- **EMPAQUE**

El desarrollo de un empaque le brinda formalidad al producto, además es necesario para brindar una muestra del sistema o guía para su desarrollo, así como el manual o propuesta de paquete tecnológico.

- **PUBLICIDAD**

Al igual que con la marca, la publicidad posiciona el producto y le da un poco más de credibilidad, aunque en esta etapa del proyecto solo se desarrolle maquetas o prototipos digitales de la publicidad, es importante resaltar que la publicidad boca a boca de este producto es esencial.

A close-up photograph of a green leaf with prominent veins. Several clear water droplets of varying sizes are scattered across the leaf's surface, reflecting light. The background is a soft, out-of-focus green.

03 DESARROLLO

Investigación y análisis

A partir de la investigación realizada sobre el tema y la problemática a abordar, se procede con la etapa de investigación en la sección de desarrollo del proyecto, en ella se define al usuario y a los principales involucrados, así como un benchmarking de sistema de riego, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora, así como los requerimientos del sistema obtenidos del usuario.

Análisis de involucrados

Se desarrolla un análisis de involucrados en la Tabla 1 con el fin de identificar de forma más clara el problema principal que se desea resolver, tomando en cuenta a cada uno de los implicados tanto directos como indirectos.

Tabla 1. Involucrados


Involucrado	Problemas percibidos por el involucrado	Interés del involucrado	Recursos del involucrado	Conflictos potenciales
Comunidad agrícola	Baja en la economía del sector ya que no producen lo suficiente y es de mala calidad, por lo que se ven afectadas sus ventas.	La disponibilidad de agua tanto para consumo, como para una adecuada producción.	Recurso económico por parte de las asociaciones, recurso técnico(especialistas)	Si se desarrolla el proyecto hay que medir la capacidad económica para solventarlo ya que puede ser un problema.
Agricultores (productores)	Baja calidad de productos por exceso o escasez de agua. Pérdida de producción.	Buen manejo del recurso hídrico en su plantación, además de la disponibilidad.	Mano de obra, en algunos casos recurso económico para el desarrollo del proyecto.	Puede haber un problema financiero a la hora de implementar el proyecto, es decir, que el valor sea muy alto. Conflicto con el libre acceso al recurso. No posean la capacitación para hacer uso del producto.
Poblaciones aledañas	Contaminación del agua y suelos, reducción en la disponibilidad del agua.	Reducción en la contaminación del agua y que no verse afectado por la falta de agua.	No poseen recursos económicos tan altos como para suplir esta necesidad.	El mayor conflicto que se puede generar sería en el momento de la construcción o instalación del proyecto, ya que puede interferir o no en la cantidad de agua disponible.
Municipalidades	Quejas constantes de la población por la disponibilidad de agua y la contaminación del recurso.	Regular el uso del agua, así como implementar una herramienta para protegerla.	Posee recursos económicos y tecnológicos, ya sea para investigaciones o instalación de equipo que brinden una solución.	Se pueden presentar quejas por parte de otros sectores al invertir en el proyecto, incluso con los habitantes por razones con el manejo del agua.
Consumidor de productos agrícolas	Obtención de productos de calidad deficiente por falta de riego y con exceso de fertilizantes.	Un producto sano y de alta calidad.	No posee recursos para mejorar la situación.	No existen conflictos asociados.
ASADAS	Calidad y cantidad de recurso hídrico insuficiente para suplir a toda la comunidad y el sector.	Regulación de uso y obtención de agua del sector de agua, además del manejo de esta.	Los recursos que poseen las ASADAS son especialmente para la solución de problemas con la asociación. Sin embargo, tienen recurso humano que conoce mucho sobre el manejo del agua.	Al ejecutar el proyecto pueden existir quejas por parte de los beneficiarios de la ASADA por la obtención y la disponibilidad de agua
AyA	Un manejo deficiente y poco regulado del recurso hídrico por parte de los agricultores, además de contaminación de sus acueductos.	Regular el uso del agua en el sector y proteger el recurso de diversos contaminantes y su desperdicio.	Posee recursos materiales, tecnológicos, humanos entre otros para el desarrollo e implementación de equipos o productos que solventen en medida los problemas.	Se pueden presentar quejas por parte de los productos al regularles el uso del recurso hídrico.

Como se observa en la Tabla 1, entre las problemáticas más destacadas está el uso poco regulado del agua y la disponibilidad para todos, ya que por lo general en el sector agrícola hacen uso indiscriminado del recurso para el riego de sus siembras, afectando así el acceso a las demás personas. Además, otro punto importante al que no se le presta mucha atención, es que no hay una capacitación real para los productores en el riego de los campos de hortalizas y otro tipo de cultivos, es decir, muchos de las personas encargadas de esta tarea son autodidactas o su conocimiento es generacional; por lo que los productos no tienen la calidad deseada, ya sea por falta o exceso de agua, esto tomando en cuenta el exceso de fertilizantes y fungicidas utilizados, los cuales se filtran en el suelo salinizándolo y afectando también las aguas subterráneas [44].

Otro hallazgo importante en el tema de la gestión del recurso hídrico es que el sector agrícola en general, no solo los productores de hortalizas y las comunidades delegan y achacan los problemas de acceso, regulación, mantenimiento y escasez del agua a los entes públicos como municipalidades, el AyA, entre otros, pidiendo y algunas veces exigiendo soluciones, cuando los principales actores del problema son ellos y no buscan ayuda con instituciones públicas para capacitarse en el manejo adecuado del agua y una especialización más profunda de su producto, recordemos que la mayoría de los pequeños productores no tienen buenos recursos o acceso a buenas fuentes de financiamiento para lograrlo [45].

Usuario

A partir del análisis anterior e investigación se define al usuario mediante el método de creación de personas. Se construyó un único usuario ya que es el que tiene contacto real y directo con el sistema.



“agricultor experimentado”

Amanda Méndez Solís
Edad: 54 años
Agricultor
Reside en zona rural

Sobre agricultura y sistemas

Interés

Conocimiento

Frec. uso

Necesidades

- Regar de modo correcto sus cultivos para tener una buena cosecha.
- Reducir su factura de agua.
- Eliminar las plagas que asechan la plantación.
- Reducir los estancamientos de agua que provocan contaminación.
- Tener un sistema de riego sencillo de utilizar.

Preferencias

- Usar sistemas de riego que no sean costosos.
- Sistemas que sean reconocidos por el/ella y no tenga dificultad de aprendizaje.
- Que sea un poco amigable con el ambiente, que no desperdicie agua.

Frustraciones

- Perder la cosecha por exceso o falta de agua.
- Tener plagas en los cultivos.
- No saber el funcionamiento de algunos sistemas.
- Desperdiciar agua y plaguicidas en el terreno.

Figura 33. Usuario. Fuente elaboración propia

Benchmarking

Con el fin de tener una visión más clara de cada uno de los sistemas de riego, se procedió a realizar un análisis de los sistemas de riego existentes, su función, ventajas y desventajas. Además de sus principales aportes al proyecto, esto para mejorar el producto o sistema final.

- Riego Superficial

Funcionamiento

Riego Superficial por inundación

Se chorrea el agua de forma libre, la cual llega al suelo por medio de surcos que se inundan distribuyéndose por todo el suelo.

Riego por surcos

Se realiza con maquinaria que realiza surcos en la parcela en forma de hileras, estas hileras se chorrean y quedan llenas de agua.

Tubería a chorro

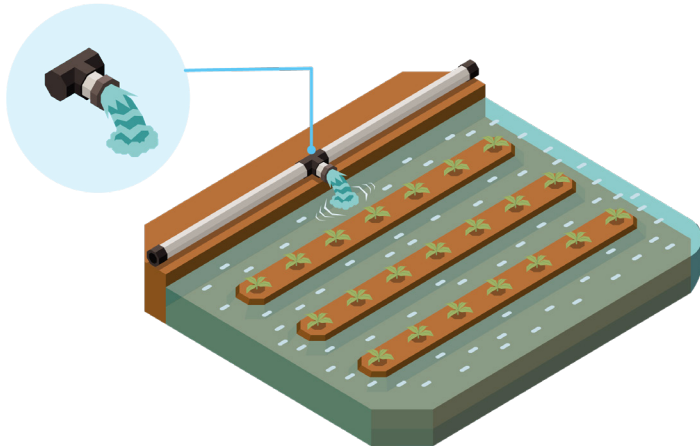


Figura 34. Riego superficial. Fuente Freepik

Aportes

Permite evaluar la técnica de filtración de agua, para medir si es efectiva o no, si los cultivos, además de caracterizar el tipo de suelo en el que se puede utilizar este tipo de sistemas.

Ventajas

- No se necesita de un equipo muy especializado, ni utilización de energía.
- Se puede usar agua dulce que no sea de primer uso, es decir, se puede reutilizar agua.

Desventajas

- Se debe realizar un terreno bastante uniforme.
- Es difícil medir la filtración del agua, por lo que puede ser efectivo o no.
- Se llega a desperdiciar mucha agua.
- Es propenso a la creación de criaderos de mosquitos.

- Riego por Aspersión

Funcionamiento

El agua se aplica en forma de llovizna, producida mediante el paso de agua a presión por una pequeña bomba centrífuga giratoria o no, a la que llega el agua a través de tuberías.

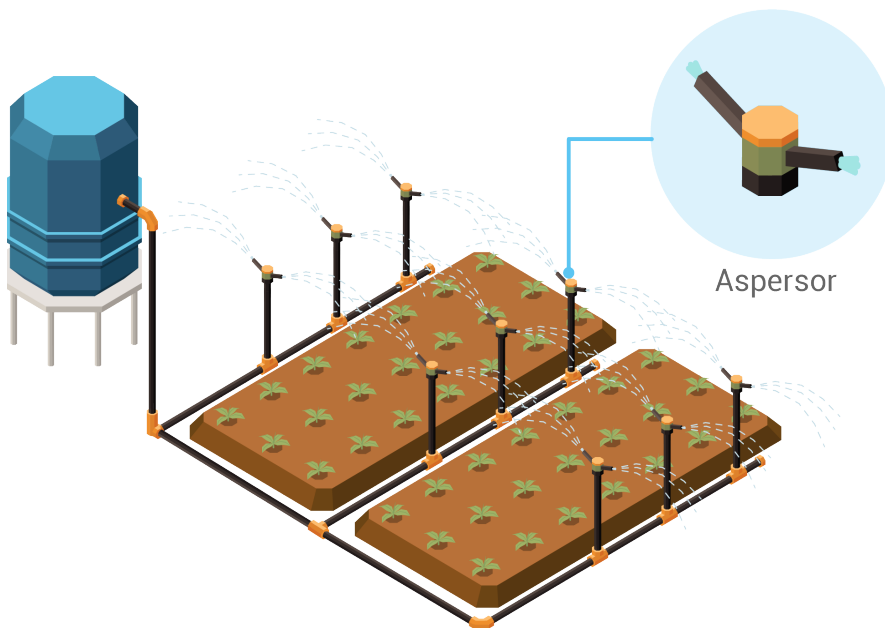


Figura 35. Riego por Aspersión. Fuente Freepik

Aportes

Ayuda a la verificación de diversos componentes un poco más especializados que pueden aportar a un nuevo sistema, además del uso de tecnología hidráulica o eléctrica.

Existe variedad de documentación sobre su eficiencia por lo que se pueden tomar aspectos relevantes para ser aplicados al nuevo diseño.

Es un sistema muy reconocido por los usuarios y externos, lo que puede ayudar al seguimiento de un modelo mental.

Ventajas

- Es uno de los más utilizados en los cultivos actualmente.
- Se pueden abarcar diversidad de suelos que no se pueden regar de manera superficial.
- Alta eficiencia en la distribución del agua en distintos tipos de suelos y pendientes.
- Se puede fertilizar y regar al mismo tiempo.
- Menos costo en mano de obra, debido a su infraestructura.
- Puede ser fijo o semifijo.
- Se permite en procesos más grandes como zonas industriales.

Desventajas

- Su costo de instalación inicial es bastante alto.
- Las ventiscas afectan su eficiencia de riego debido a su sistema de llovizna.
- Puede permitir el desarrollo de hongos en los cultivos.
- Reemplazo periódico de bombas centrífugas.

- Riego Localizado

Funcionamiento

Riego por Goteo

Proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta, mojando el perfil del suelo, el agua es transportada por tuberías plásticas hasta cada planta y se riega por medio de un orificio milimétrico a baja presión.

Tuberías emisoras

Mediante elementos de riego como tuberías o bandas se riega en una banda continua el suelo, humedeciéndolo sin puntos localizados, es recomendable en plantas con poca distancia de siembra.

Microaspersión

Se riega mediante la aplicación de agua una superficie determinada del suelo en forma de lluvia muy fina, su alcance va a depender de cada emisor.

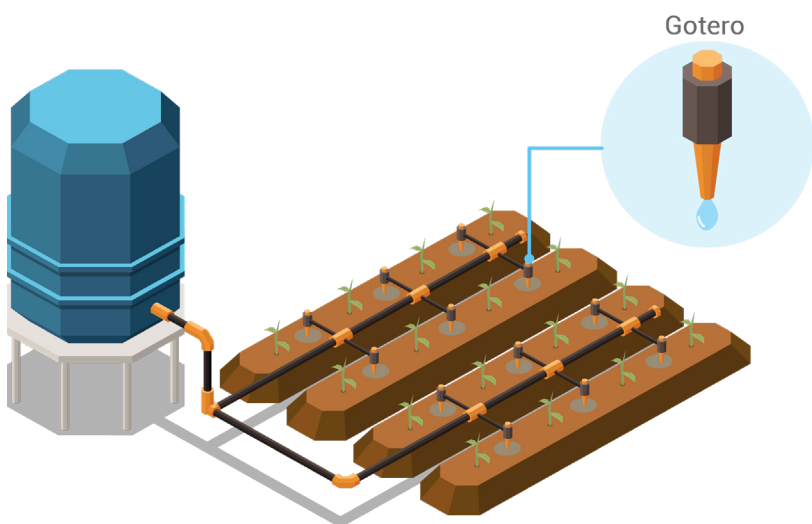


Figura 36. Riego por Aspersión. Fuente Freepik

Aportes

La diversidad de diseños en este tipo de riego, pero bajo la misma funcionalidad de riego localizado, abre las puertas a diversas variantes, con más o menos tecnologías y también permite explorar sistemas de este tipo a un bajo costo y de fácil uso ya que el usuario no interviene mucho en su funcionamiento.

Ventajas

- Es uno de los métodos o sistema que utiliza menos agua.
- Mantiene la humedad de las plantas sin "ahogarlas".
- Mejora la producción de los cultivos.
- Es posible ubicar este tipo de riego en cualquier tipo de terreno.

Desventajas

- Los canales que distribuyen el agua se suelen tapar por lo que requiere dos tipos de filtros, uno de malla y otro de arena.
- Puede tener un costo inicial alto para los agricultores.
- Va a depender del tipo de suelo su eficiencia en cuanto a bulbo húmedo.

Requisitos de diseño

Los requerimientos de diseño se definieron con base a la necesidad encontrada y la investigación realizada, es necesario determinar las características que debe tener el producto según los requisitos de los clientes para poder satisfacer dicha necesidad, así como encontrar solución al problema planteado y cumplir los objetivos del proyecto.

Entre los requerimientos se encuentran unos enfocados en la interacción del usuario con el producto, su calidad con respecto al entorno en donde se utilizará, el nivel de reparabilidad, así como los costos que es un punto importante para los clientes, en la tabla 2 se detalla cada uno de ellos.

Tabla 2. Requisitos

Necesidad	Requerimiento	Requisito
Disminuir el uso excesivo de agua en los sistemas de riego de hortalizas y aumentar su eficiencia	Fácil de instalar.	Contar con un manual de instalación sencillo e intuitivo Que el sistema no cuente con muchas piezas
	Fácil de usar y manipular	Diseño e interacción intuitiva
	Que los costes no sean muy elevados	Materiales y componentes accesibles
	Sistema duradero en el tiempo y calidad	Material resistente a las condiciones del clima y la intemperie
	Reduzca el consumo de agua	Sistema que indique la cantidad de agua requerida y de buena calidad
	Indique cuándo y cuánto debe regar el cultivo	Medidor de humedad del suelo y cultivo.
	Piezas reemplazables en caso de requerirlo	Componentes accesibles y de venta individual
	Evite la proliferación de plagas	Aislantes del cultivo, cero o mínimo emposamiento
	Que no necesite mucho mantenimiento	Componentes de calidad
	Que se pueda colocar en diversos terrenos	Forma y funcionalidad adaptable al terreno
	Que no moleste al usarlo ni visual ni físicamente, cómodo	Ergonomía física y cognitiva

Conceptualización

A continuación se mostrará la conceptualización del sistema, así como el concepto rector de diseño que sirvió como guía para la generación de alternativas, propuestas y para la resolución del problema.

Concepto

La definición del concepto se basó en los requerimientos y en lo que se busca como producto funcional, el concepto se definió como "**Simple Eficiencia**", a lo que se le da como significado: "que cumple su función a partir de la simpleza ya sea en diseño, mecanismo o estructura".

Simple eficiencia



“ Que cumple su función a partir de la simpleza ya sea en diseño, funcionalidad, mecanismo e inclusive estructura. ”



Interacción

De uso intuitivo, fácil manipulación e instalación. El usuario identifica sus puntos de contacto de forma simple.



Funcionamiento

Simple, ágil y sencillo, no implementa muchos mecanismos para cumplir correctamente la función.



Sostenibilidad

Mediante la reducción y el consumo de agua eficiente, además de disminución de materias primas.



Entorno

Sectores de siembra como parcelas, en especial valles y montañas con acceso a agua, expuesto a diversos climas.



Usuario

Agricultores hombre y mujeres con una edad entre los 30 a 55 años, que se dedican a la siembra y producción de hortalizas.



Involucrado

Entes públicos como municipalidades, organizaciones públicas, AyA, comunidades agrícolas, ASADAS.

Objetivo General

Diseñar un sistema de riego eficiente para la cosecha de hortalizas que cumpla con los requerimientos técnicos que logre el uso adecuado y racional del recurso hídrico en el sector agrícola de Agua Caliente de Cartago.

Objetivos Específicos

1. Aplicar información y requerimientos técnicos del suelo y cultivo de hortalizas en el diseño para el control del estrés hídrico y el equilibrio en el uso del agua.
2. Elaborar la propuesta de un paquete tecnológico del sistema de riego que asegure la eficiencia del mismo a través de los materiales, el ensamblaje, la fácil reparabilidad y su funcionamiento con el fin de resolver la deficiencia de sistemas de riego hechos utilizados en las plantaciones de hortalizas.
3. Asegurar el fácil uso del sistema mediante un diseño simple y sencillo con elementos e interacción intuitiva, enfocado principalmente en usuarios con baja escolaridad cumpliendo con criterios técnicos básicos de funcionamiento.

Expectativas

Reducir el consumo en exceso de agua en las plantaciones de hortalizas y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, así prestar un servicio de uso de sencillo e intuitivo para el usuario.

Alcances

- Desarrollar un prototipo del sistema.
- Realizar una presentación sobre el proyecto.
- Redactar un artículo científico basado en la información recopilada.
- Garantizar la implementación y viabilidad del proyecto.



¿Quién?

Agricultores de entre entre los 30 a 55 años, y comunidades agrícolas.

¿Qué?

Sistema de riego eficientes y fácil de utilizar.

¿Cuándo?

Cuando el cultivo y el agricultor lo requieran.

¿Dónde?

Sectores de siembra como parcelas y fincas.

¿Por qué?

Porque es necesario crear conciencia ambiental y racional el recurso hídrico y asegurarlos para el futuro.



¿Cómo?

Mediante el uso de los principios del diseño y escenarios de diseño estratégico, así como una investigación y análisis del tema.

Figura 37. Concepto. Fuente: Elaboración Propia

Diseño de alternativas

Una vez definidos el concepto, los requerimientos y requisitos del producto, además de los objetivos del proyecto y la información recolectada, se desarrollan cinco propuestas del diseño del producto. En esta etapa inicial de elaboración de alternativas se realizan bocetos iniciales a lápiz, que llevaron un proceso gradual de mejora, hasta obtener las 5 alternativas y proponer una propuesta final definitiva.

- Propuesta 1

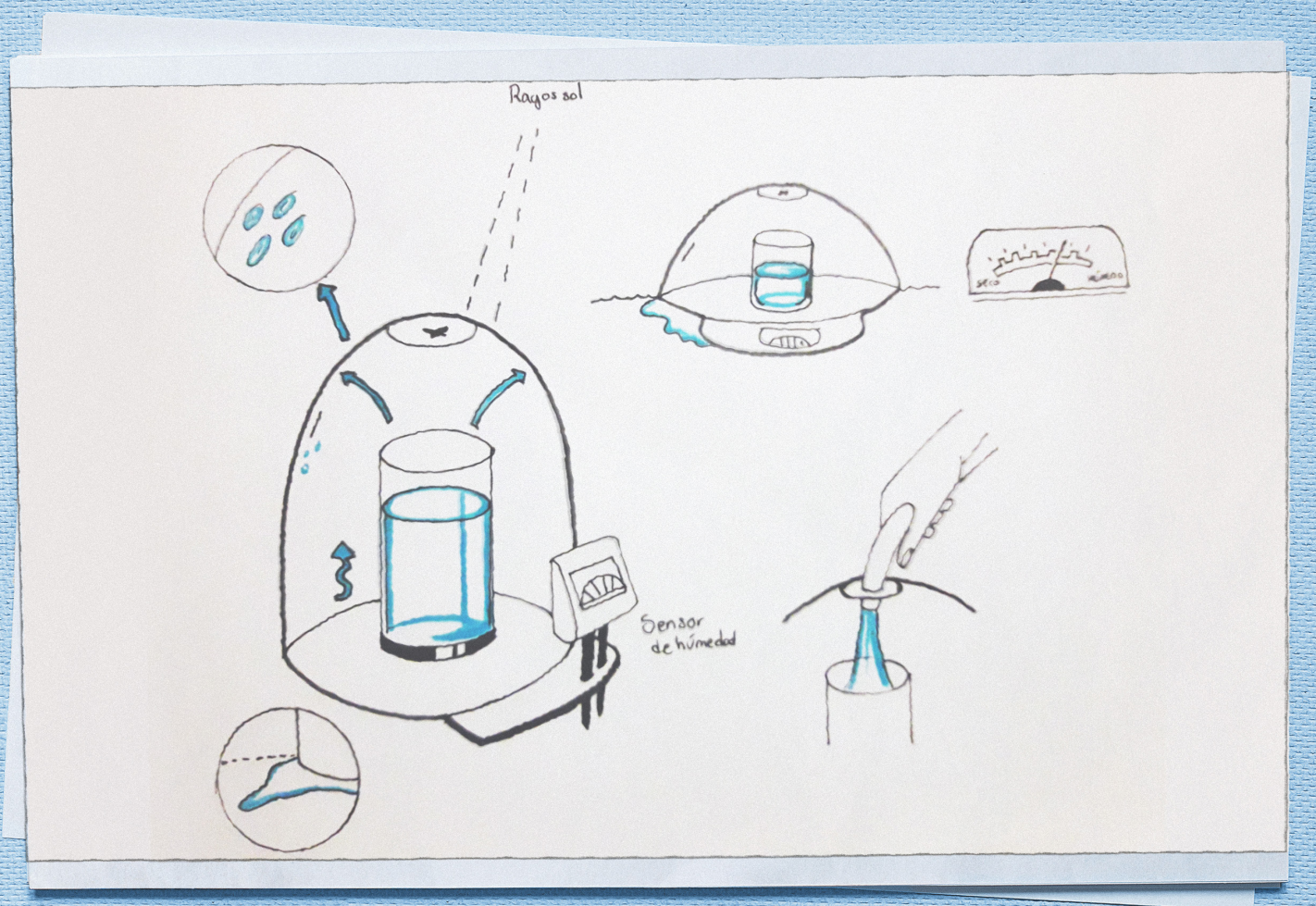


Figura 38. Propuesta 1. Fuente: Elaboración Propia

Consta de una pequeña cápsula con un recipiente interno, el cual contiene el agua que el usuario agrega por medio de un orificio cubierto con un silicón que permite el paso de la manguera. Su funcionamiento se basa en la evaporación del agua contenida en el recipiente, que queda atrapada dentro de la capsula humedeciendo el diámetro y un poco más de la superficie del suelo que cubre. Este sistema no permite que ni una sola gota de agua escape y se evapore en el aire, sino que se conserva toda en el recipiente. Además, posee un sensor de humedad que es un componente adquirido externamente.

Ventajas

- No desperdicia agua.
- Permite observar el proceso de riego en todas sus fases.
- Es innovador.

Desventajas

- Ocupa mucho espacio en el terreno.
- Su inversión inicial es bastante alta, además el costo de mantenimiento.
- Su material podría reflejar el sol y quemar los cultivos.
- Al ser capsulas de cierto modo individuales, es un trabajo bastante tedioso llenarlas una a una, más si el terreno es grande.

- Propuesta 2

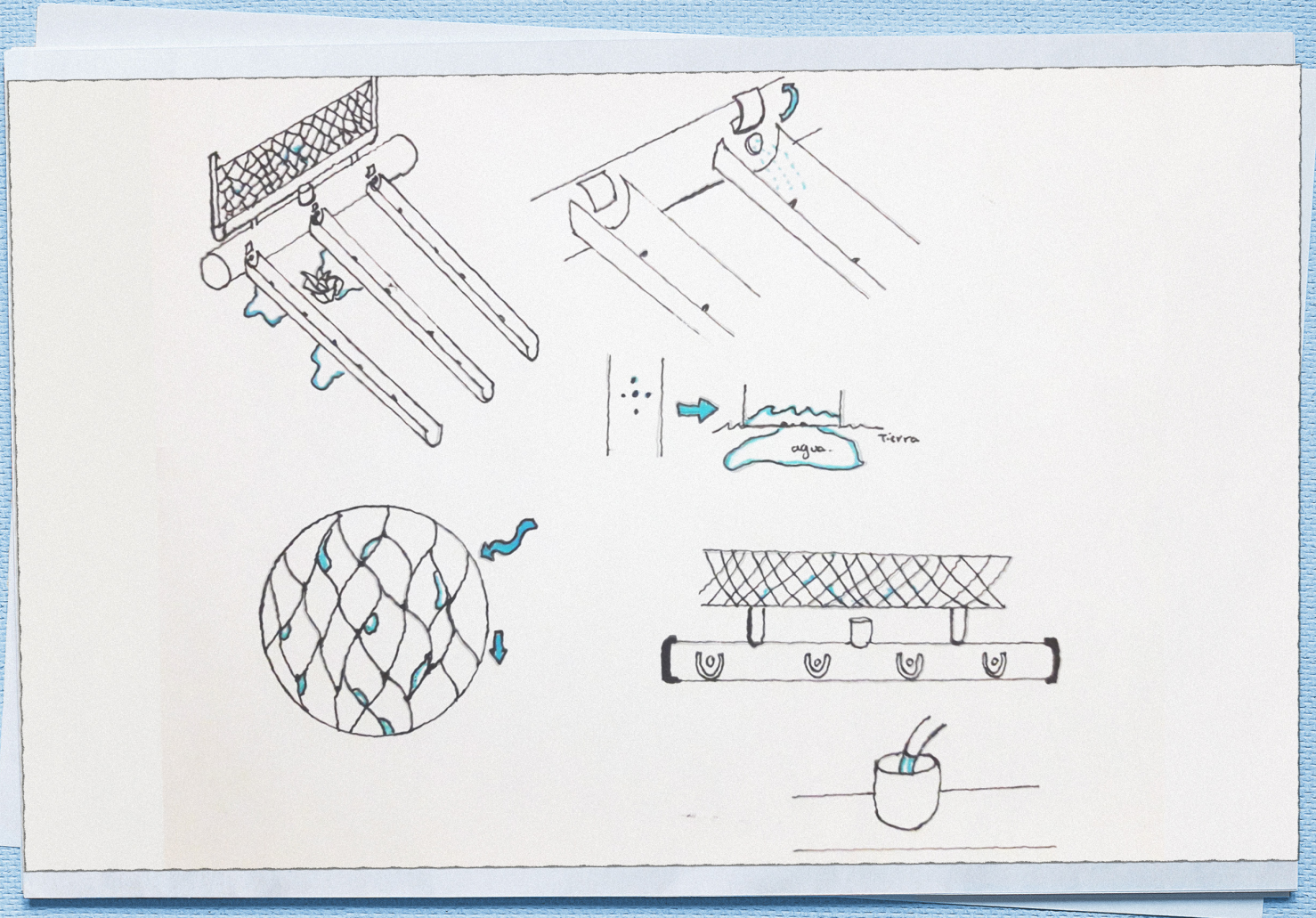


Figura 39. Propuesta 2. Fuente: Elaboración Propia

Consta de varias partes, que consta de un tubo grueso que a la vez tiene conectados otras tuberías abiertas colocadas de forma paralela, cada una de ellas tiene una salida de agua desde el tubo grueso, además poseen pequeños orificios a lo largo de ellos por donde sale el agua, humedeciendo la tierra en pequeñas secciones. Posee una red atrapa niebla, la cual captura la humedad y gotas de agua en el aire, las recolecta y almacena en el contenedor de agua, El tubo grande se llena de agua para poder realizar el riego, además de acumular el agua obtenida con el atrapaniebla.

Ventajas

- Cosecha agua directamente del aire, lo que ahorra en el consumo de agua.
- Es un sistema sencillo de utilizar.
- Abarca bastante terreno.

Desventajas

- Ocupa mucho espacio en el terreno.
- Su montaje e instalación puede resultar bastante complicado.
- No hay suficiente presión del agua por lo que no se asegura un riego uniforme.
- Abrir cada chorro de tubería paralela es tedioso si el terreno es grande.

- Propuesta 3

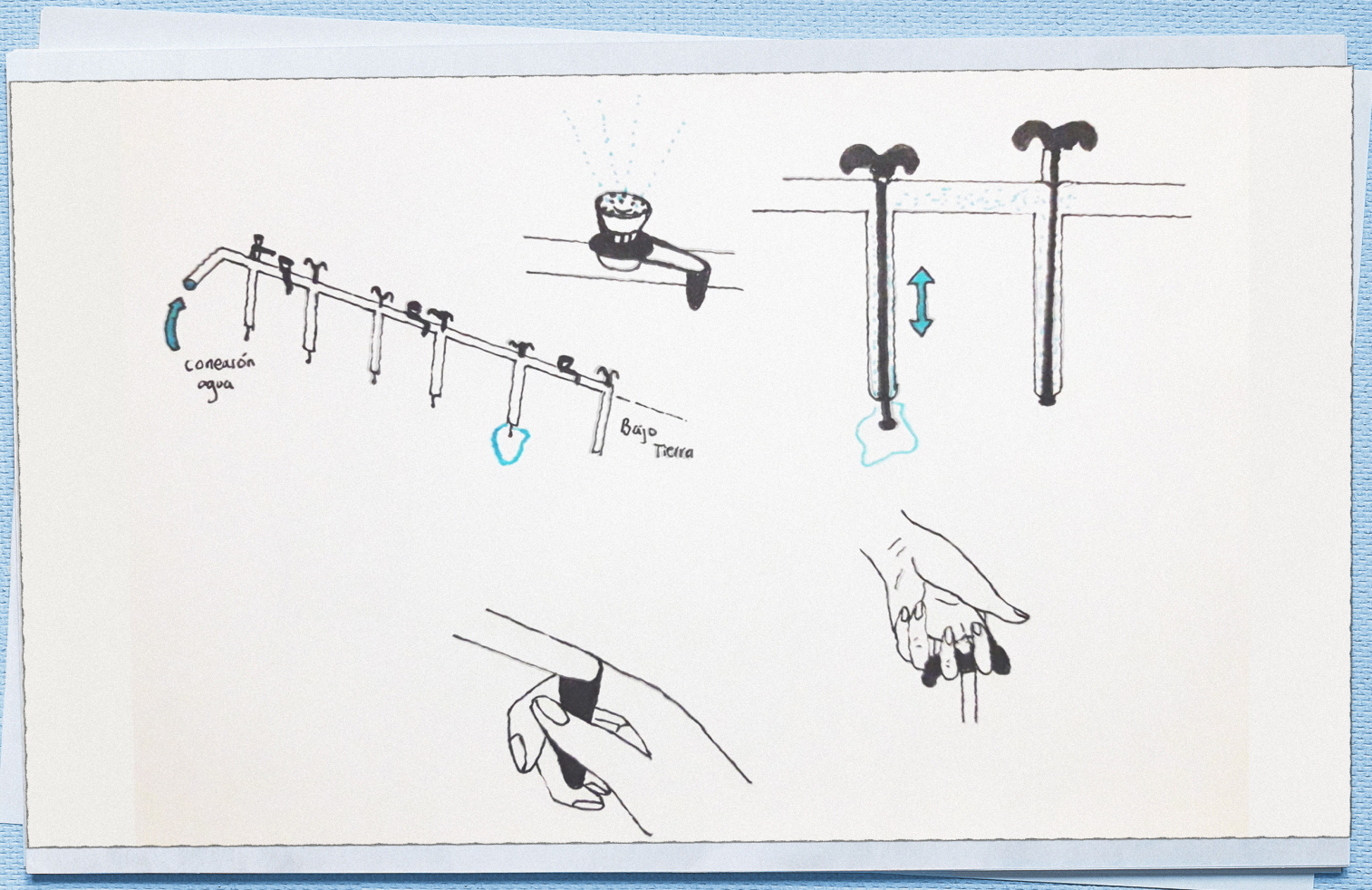


Figura 40. Propuesta 3. Fuente: Elaboración Propia

Es un sistema de tuberías semi subterránea, solo el tubo de alimentación de agua es visible, cada pequeño tubo vertical funciona con un sistema tipo "jeringa" el cual le abre paso al agua una vez este está instalado, la idea de este sistema es que no se filtre tierra en la tubería antes de ponerlo a funcionar. El agua se chorrea bajo tierra alimentando directamente las raíces del cultivo a regar, esto hace que se aproveche el mayor porcentaje de agua y no se evapore tan rápidamente. Además, entre los canales posee algunos aspersores que ayudan a lavar las hojas del cultivo en caso de ser necesario. Además, posee un sensor de humedad que es un componente adquirido externamente.

Ventajas

- Se utiliza casi el 100% de agua utilizado en el proceso de riego.
- Posee pocas piezas y es fácil de reparar.
- Su uso y funcionamiento son muy sencillos.
- Se puede ubicar en distintos terrenos, con diversas altitudes o graduaciones, así como diversos tamaños.
- No genera empozamientos de agua.
- Su costo no es muy alto.
- No es invasivo para el cultivo.

Desventajas

- Abrir cada "jeringa" o canal puede ser un trabajo muy arduo para los agricultores, mucho más si posee muchos de ellos.
- Nada asegura que no se filtre la tierra en los canales con el paso del tiempo.

- Propuesta 4

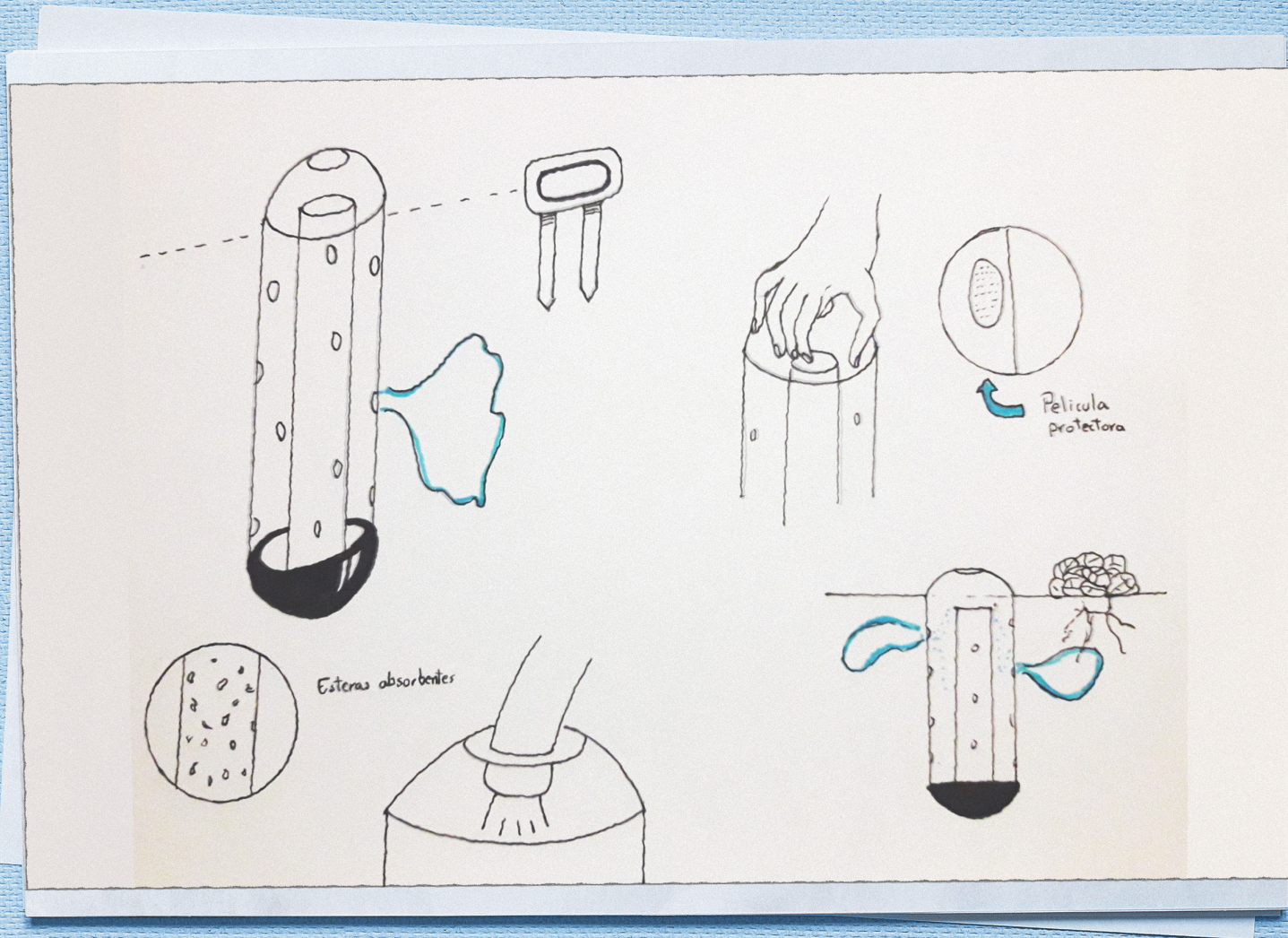


Figura 41. Propuesta 4. Fuente: Elaboración Propia

Son cápsulas que se entierran en el suelo. Posee una esponja absorbente de agua que mantiene por más tiempo la humedad, esta se llena de agua por el orificio superior que está cubierto con una silicona por donde ingresa la manguera o tubería de agua llenándola, también posee pequeños orificios en sus paredes los cuales tienen una película protectora que solo deja salir el agua, no deja entrar las partículas de tierra. El agua sale por estos orificios poco a poco humedeciendo la tierra alrededor de su diámetro, así el agua llega directamente a las raíces del cultivo.

Ventajas

- Es un sistema innovador.
- Puede abarcar varias plantas dependiendo del diámetro de riego o ubicación de esta.
- Su funcionamiento es sencillo, no requiere mucha intervención humana.

Desventajas

- Puede resultar invasivo subterráneamente en el terreno.
- Su inversión inicial es bastante alta, además el costo de mantenimiento.
- Al ser capsulas individuales, es un trabajo bastante tedioso llenarlas una a una, más si el terreno es grande.
- Puede que no exista la suficiente presión del agua para que se riegue correctamente.

- Propuesta 5

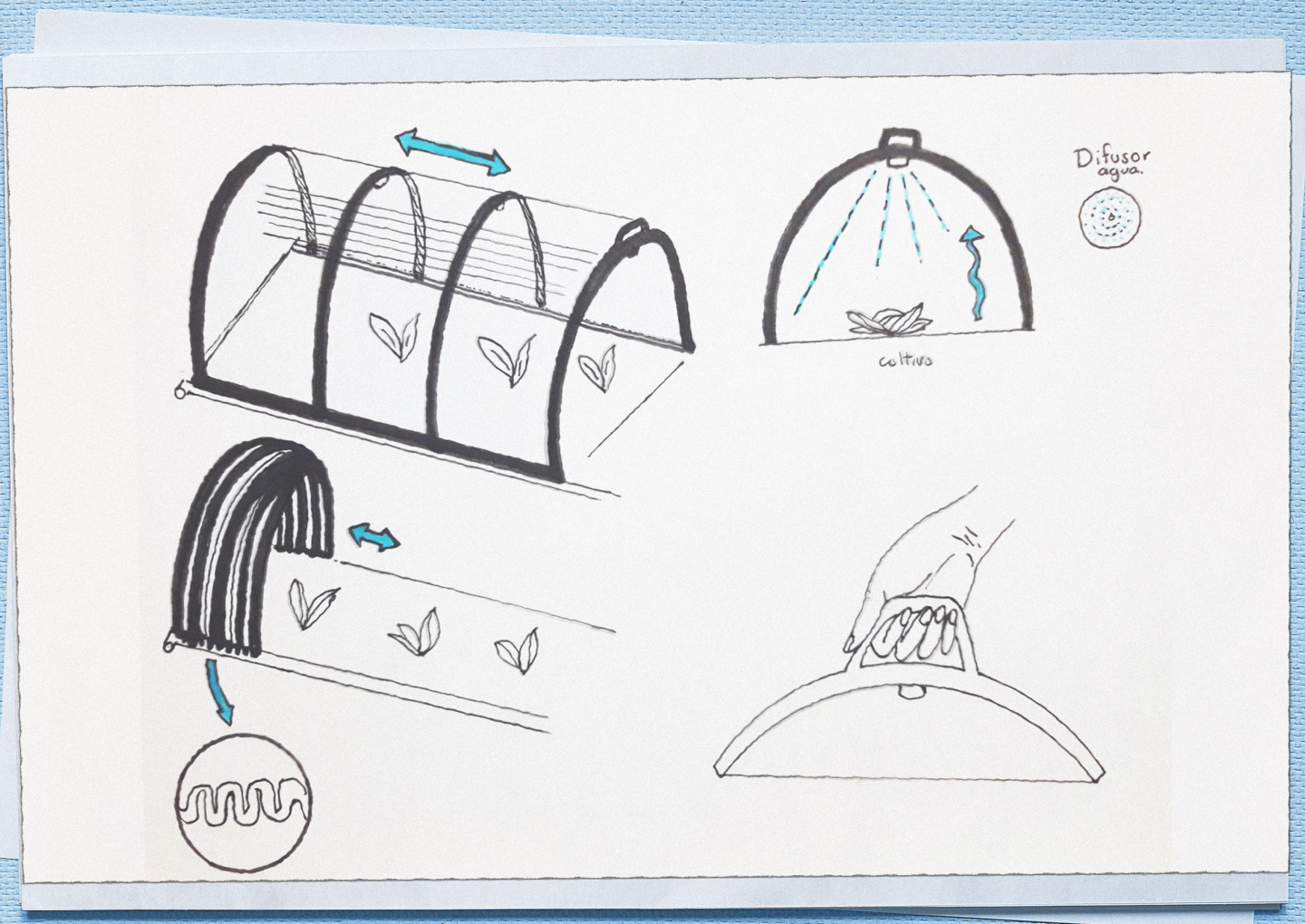


Figura 42. Propuesta 5. Fuente: Elaboración Propia

Funciona como un sistema cerrado o pequeño invernadero de tipo corredizo, el cual posee la red de tuberías incluidas en la infraestructura por medio de manguerillas flexibles y un sistema de difusor o aspersor de agua que riega la superficie del terreno atrapado bajo el sistema. Su sistema es corredizo para permitir una recolecta del cultivo sencilla y poder medir el nivel de humedad de la tierra. Además, posee un sensor de humedad que es un componente adquirido externamente.

Ventajas

- El sistema origina un microclima que hace que mejore la producción del cultivo y no se evapore el agua que se utiliza para regar.
- Protege el producto de parásitos.
- Su uso es muy sencillo, no requiere mucha intervención humana.

Desventajas

- Ocupa mucho espacio en el terreno.
- Su inversión inicial es bastante alta, además el costo de mantenimiento.
- Su montaje e instalación pueden ser muy complicados de realizar.
- No se puede ubicar en cualquier terreno.
- El cultivo no puede ser uno de alto follaje.

Matriz de Selección de Propuestas

Para la elección de la propuesta final a realizar se completa una matriz de selección, en la cual se evalúan las propuestas para conocer cuál de ellas cumple con la mayoría de los requisitos de forma satisfactoria.

A partir del uso de una escala tipo cualitativa se realizó la evaluación de cada requisito para el desarrollo del producto. Una vez hecho esto se le asigna un valor cuantitativo en escala del 1 al 10, según cumpla cada propuesta con el respectivo requisito, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Matriz de Selección de Propuestas

Criterio	Propuestas					
	1	2	3	4	5	
Diseño e interacción intuitiva	3	8x3	7x3	8x3	8x3	7x3
Contar con un manual de instalación sencillo e intuitivo	2	10x2	8x2	9x2	10x2	8x2
Medidor de humedad del suelo y cultivo.	2	10x2	10x2	10x2	10x2	10x2
Material resistente a las condiciones del clima y la intemperie	3	5x3	8x3	10x3	10x3	10x3
Materiales accesibles	2	6x3	7x2	10x2	8x2	6x2
Componentes accesibles y de venta individual	1	2x1	6x1	8x1	7x1	5x1
Que no cuente con muchas piezas	1	9x1	2x1	10x1	10x1	7x1
Que indique la cantidad de agua requerida	1	5x1	5x1	5x1	5x1	5x1
Componentes de calidad	3	7x3	7x3	9x3	8x3	6x3
Aislantes del cultivo, cero o mínimo emposamiento	2	6x2	3x2	10x2	10x2	9x2
Forma y funcionalidad adaptable al terreno	1	3x1	1x1	9x1	9x1	5x1
Ergonomía física y cognitiva	2	5x2	3x2	8x2	8x2	8x2
Total		159	142	207	201	173

3. Indispensable

2. Necesario

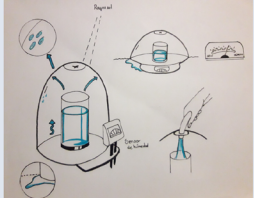
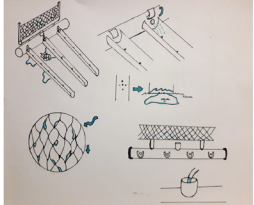
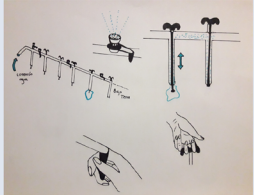
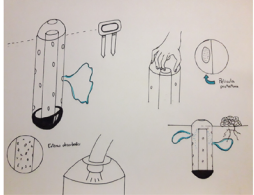
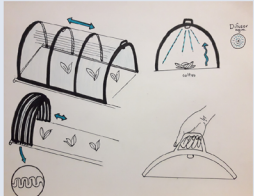
1. Deseable

De ésta tabla se puede extraer que la propuesta que en su mayoría cumplió con los requisitos planteados por los posibles usuarios y la que obtuvo mayor puntuación fue la **propuesta 3**. Sin embargo es necesario notar que la propuesta 4 no se aleja mucho de la puntuación obtenida por la propuesta de mayor puntaje.

Evaluación Heurística Propuestas Previas

Se realizó una entrevista a una profesional en el área de Ingeniería Agrícola, la ingeniera Nancy Barahona, colaboró en la revisión heurística y técnica de las distintas propuestas presentadas. La evaluación se realizó en conjunto con la diseñadora para aclarar dudas y escuchar propuestas de mejora de cada una de ellas. Las recomendaciones y comentarios más importantes fueron recolectados y colocados en una tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4. Evaluación heurística de propuestas

	Propuestas	Criterio
1		<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar en cuenta el suelo para este tipo de riego (arcilloso, franco , arenoso). 2. Ocupa mucho espacio y en la agricultura existe mucha demanda de espacio, sirve para huerta en casa 3. Sistema un poco complejo para el tipo de usuario y también en fabricación. 4. Se ocupan muchas cápsulas y sube el costo en huertas grandes, lo cuál no es beneficioso. 5. Su diseño disminuye la evaporación por lo que el porcentaje de eficiencia de riego se aumenta. 6. El tipo de material a utilizar puede afectar a las plantas por distintos factores como el reflejo del sol.
2		<ol style="list-style-type: none"> 1. La cantidad de válvulas va a aumentar el tiempo invertido en el sistema, lo recomendable es instalar compuertas mecánicas que pueden subir el costo. 2. El caudal puede quedarse en un solo agujero de salida en cada canoa, por lo que el riego no es homogéneo, se puede solucionar con goteros y reguladores de presión. 3. La cantidad de material y diversos implementos que lo componen aumenta el costo. 4. Canoa no genera presión, por lo que no se asegura una salida de agua por los pequeños orificios. 5. Calcular las dimensiones del riego para conocer el tamaño del sistema, ya que puede que no lo cubra. 6. No hay bombeo de agua por lo que no se conoce cual cantidad de agua es necesaria para el terreno.
3		<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiempo de ejecución y manipulación puede ser tedioso, analizar la colocación de una sola válvula. 2. Puede ser un poco costoso por el material o cantidad de material a utilizar (analizar). 3. Se puede adaptar a diversos cultivos o terrenos. 4. Disminuir la cantidad de material en el sistema. 6. Buscar solución a la obstrucción de tierra en caso de que ocurra por el sistema de "jeringa". 7. Es un riego localizado que aporta un buen desarrollo al cultivo. 8. Complementar con propuesta 4.
4		<ol style="list-style-type: none"> 1. La membrana semipermeable que posee es ideal ya que no hay obstrucción de tierra. 2. Se puede proponer un sistema o cápsula de menor dimensión o con menos salidas de agua (orificios). 3. Tomar en cuenta la profundidad radicular de la planta para dimensionar el tamaño de la cápsula y no desperdiciar material. 4. Sistema tedioso para el usuario ya que pierde tiempo llenando cada cápsula.
5		<ol style="list-style-type: none"> 1. Funciona como un ambiente protegido, se puede hacer uso de plástico que ayude a que el cultivo se desarrolle mejor, que controle el ambiente, controle la evapotranspiración (plantas). 2. Puede no haber homogeneidad de riego por presiones de agua con el aspersor. 3. Sistema más costoso por el material y el diseño. 4. Se recomienda colocar mangueras para que el riego sea por debajo, porque el diseño actual que es por arriba complica el sistema 5. Limita a la planta en cuanto a crecimiento, si su follaje es muy grande, por ejemplo la del tomate. 6. Su uso es mejor en jardines y huertas periurbanas, es decir, para espacios pequeños.

La recomendación final brindada por la profesional fue hacer una propuesta que incluyera las características con más ventajas de las propuestas, que a criterio de la profesional eran las mejores, en este caso la **propuesta 3 y 4**, por lo que se procede a realizar una propuesta mejorada basándose en las anteriores. Además de tomar en cuenta lo analizado con la matriz de selección.

Propuesta Final

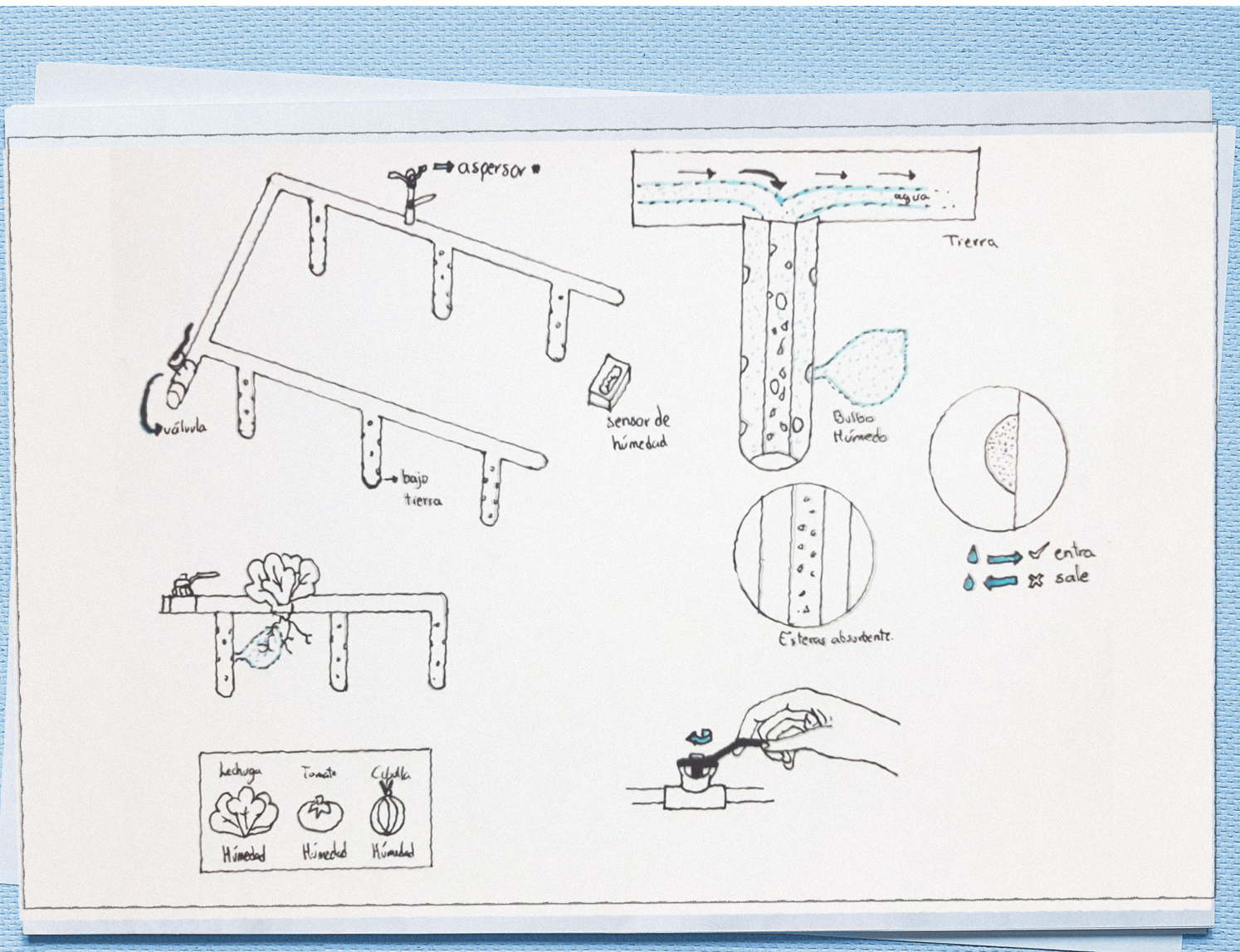


Figura 43. Propuesta Final. Fuente: Elaboración Propia

Esta propuesta es una combinación en su mayoría de la propuesta 3 con características importantes de la propuesta 4, se trata de un sistema semisubterráneo para facilitar la instalación, de bajo costo y fácil construcción que posee solo una pieza especializada y componentes externos como las válvulas de presión y el sensor de humedad. La tubería transporta el agua a presión hasta los canales verticales que poseen una estera absorbente (va a ser probada ya que no se asegura su efectividad) y unos pequeños orificios con su película protectora y de filtración por donde sale el agua humedeciendo la tierra y creando el bulbo húmedo que alimenta las raíces del cultivo con agua. Dicho bulbo dependiendo del suelo puede tener un diámetro bastante extenso cubriendo la necesidad de varias plantas. Además, se le pueden adaptar aspersores en caso de que el usuario lo crea necesario.

Creación y detallado

En la etapa de creación y detallado de propuestas se desarrolla el modelo digital del sistema mediante el software CAD Solidworks y el renderizado en el software KeyShot, con el fin de lograr una mejor visualización del sistema. Además, de la descripción de los escenarios y las variables antes mencionadas.

Modelo Digital

El sistema de riego diseñado fue nombrado "**Aqua**", a continuación se muestra una serie de figuras representado el sistema.

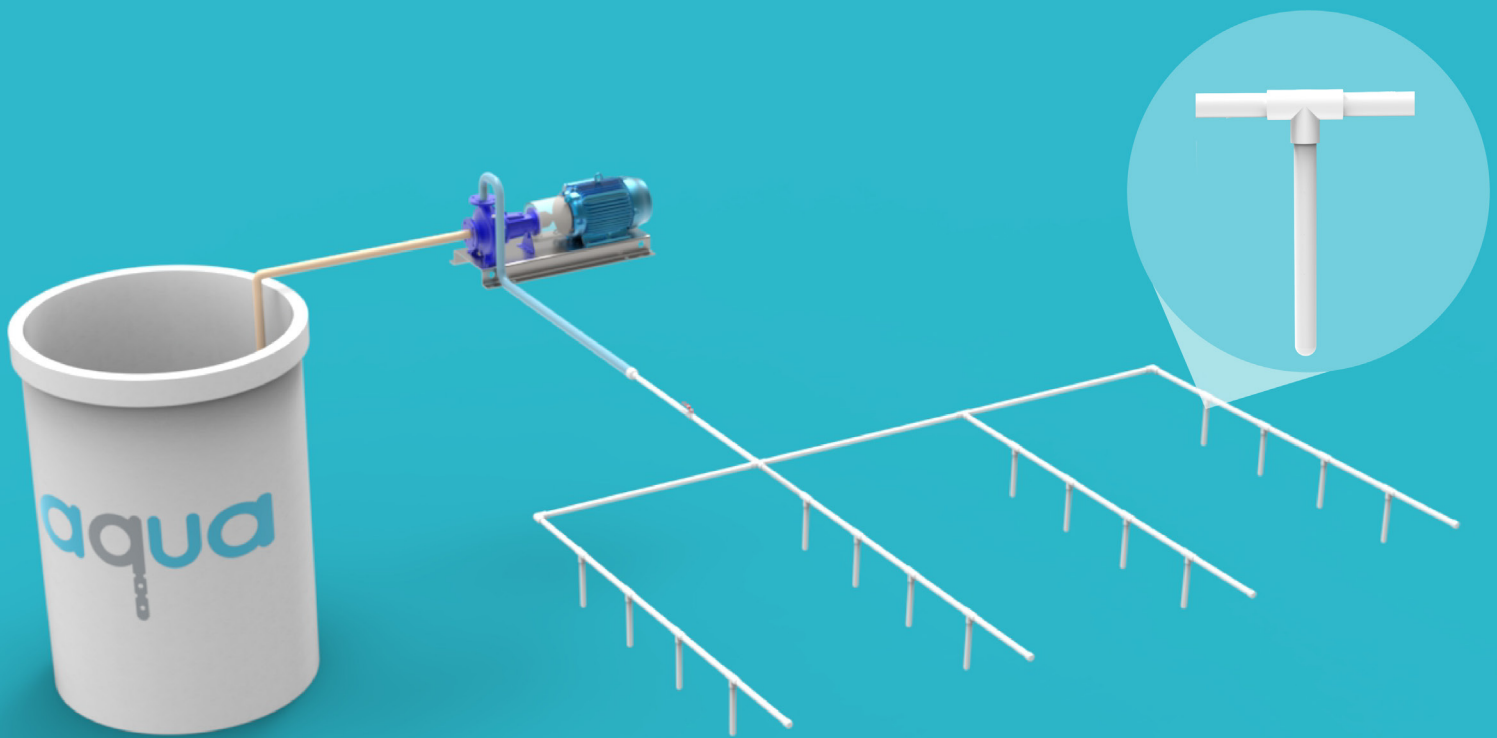


Figura 44. Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia

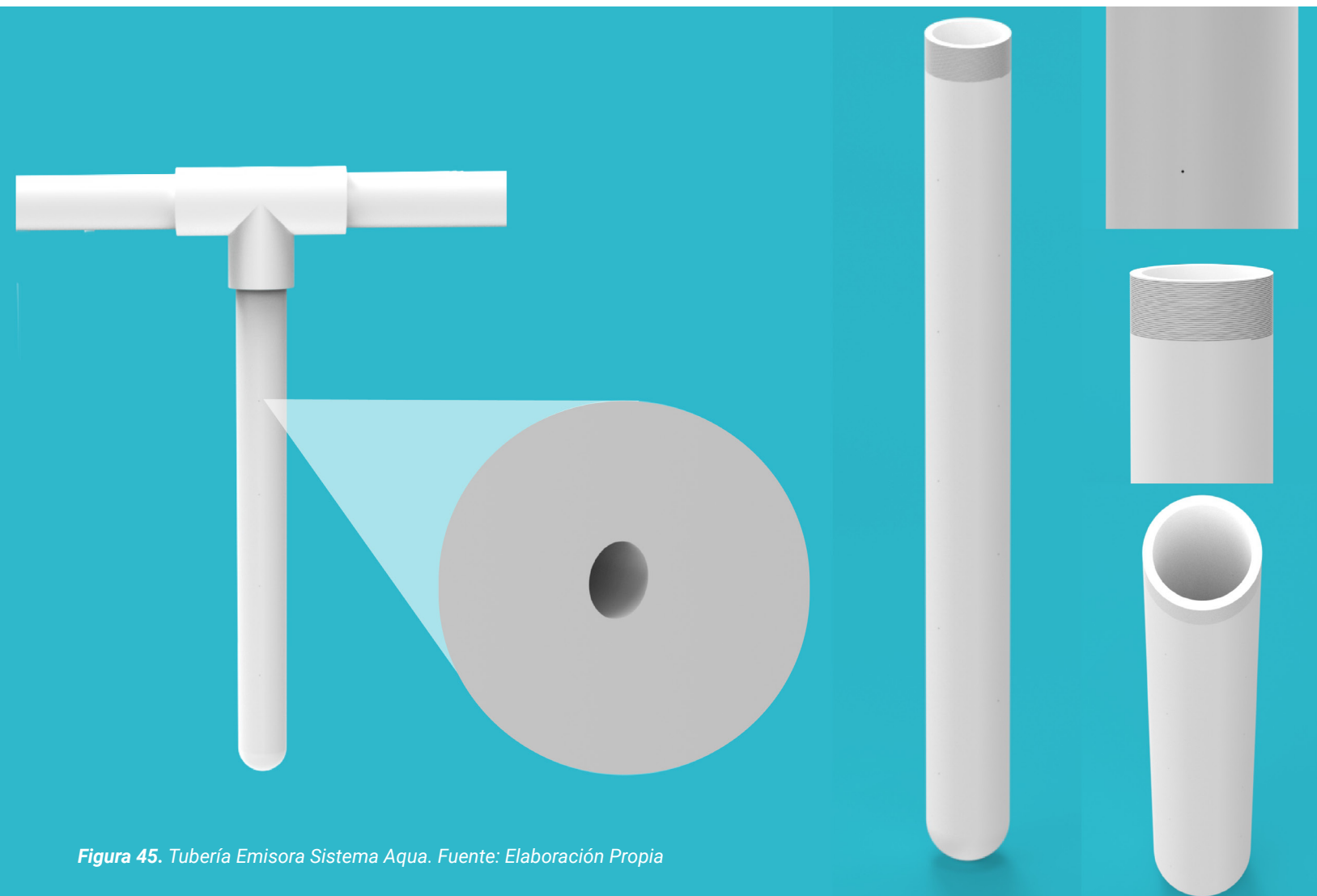


Figura 45. Tubería Emisora Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia



Figura 46. Red de Tubería Emisora Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia

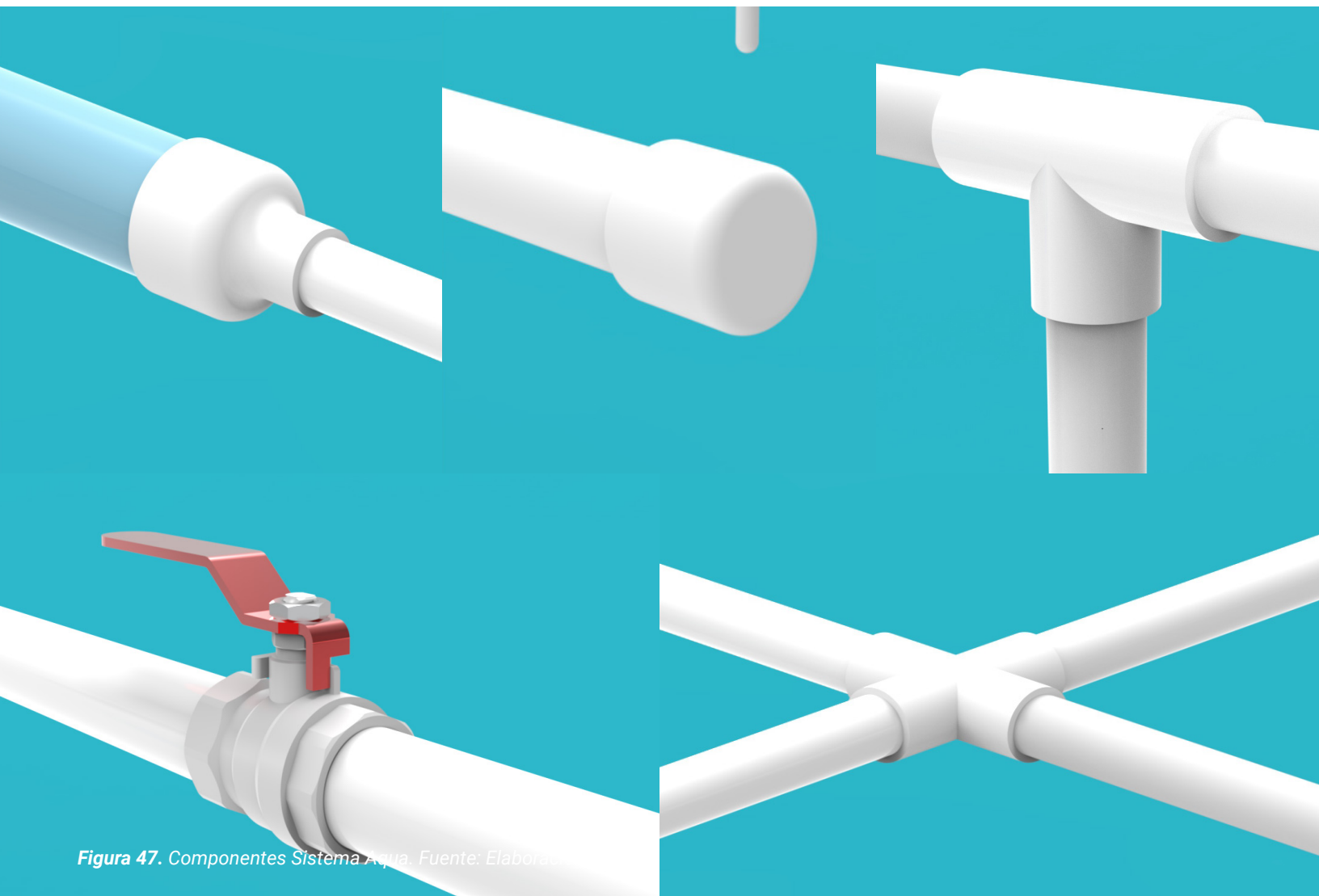


Figura 47. Componentes Sistema Agua. Fuente: Elaboración Propia



Figura 48. Bomba y tanque. Fuente: Elaboración Propia

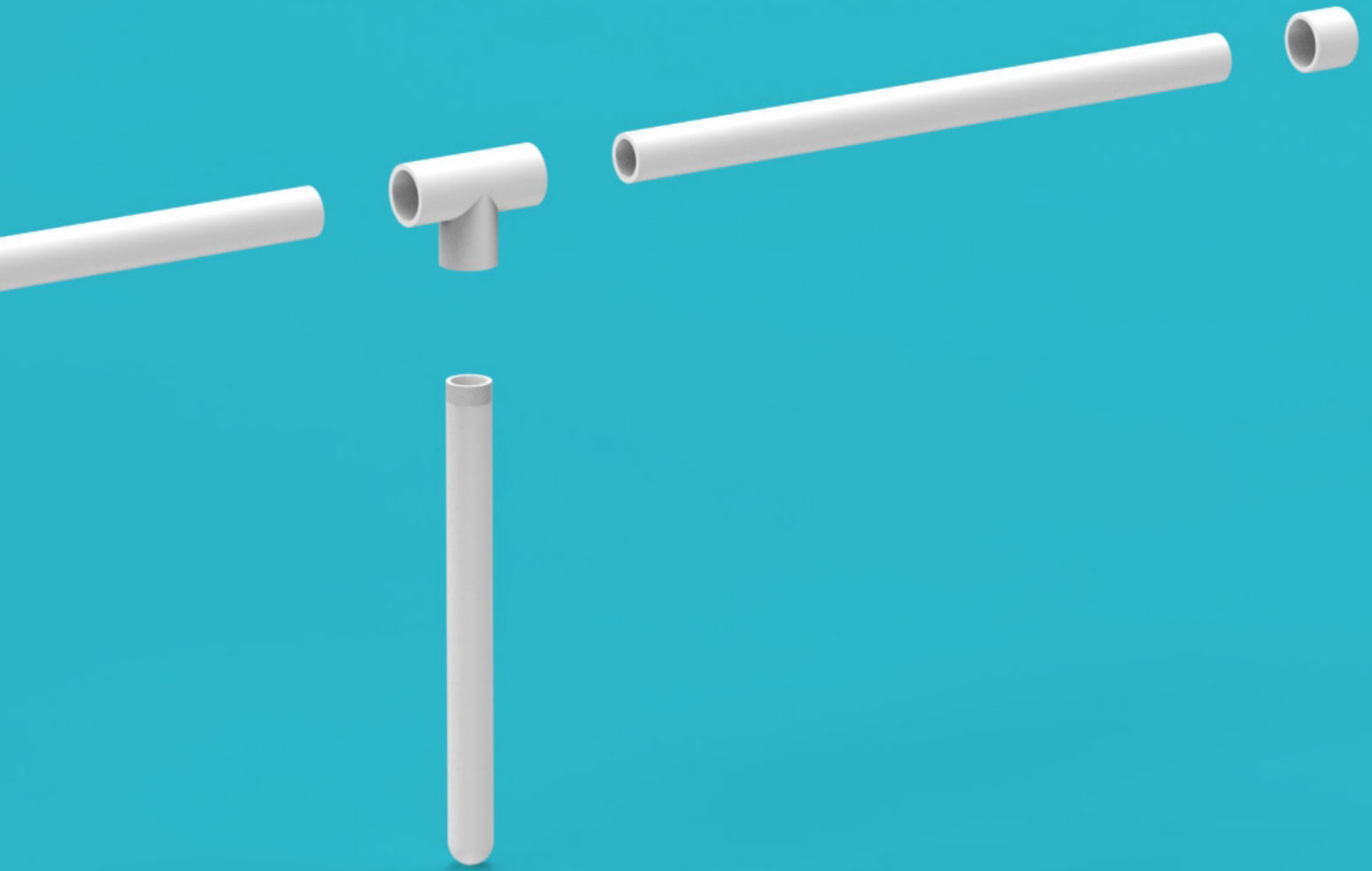


Figura 49. Esploso de tubería. Fuente: Elaboración Propia



Figura 50. Piezas estándar. Fuente: Elaboración Propia

Escenarios

Escenario Material

Para dicho escenario se evaluaron diversas materias primas, materiales semielaborados y componentes que pueden cumplir con los requisitos y funciones del sistema de riego para un correcto funcionamiento y calidad que es requerido en ellos, así como las forma-función y su correcto uso por parte del usuario.

- **Materias Primas**

Estas materias primas son necesarias para la fabricación de los tubos emisores de agua de micro riego subterráneos del diseño, el cual se propone pueda ser fabricado con materias primas desde cero o con semielaborados como tubería.

Policloruro de vinilo (PVC)

Es un polímero termoplástico amorfo cuyas propiedades varían en función del grado de polimerización, del proceso de producción y del contenido plástico. Las dos clases más diferenciadas son el PVC rígido (PVC-U) y flexible (PVC-P). El PVC es un material dúctil, tenaz, versátil y muy resistente. Posee una gran estabilidad dimensional debido a su mínima absorción de agua, es reciclable y puede fabricarse en múltiples acabados y colores [46].



Figura 51. PVC. Fuente: istockphoto.com

Características [47]

- » Tiene excelente resistencia mecánica al impacto o al aplastamiento.
- » Tiene bajo peso (1.4 g/cm³) lo que facilita su porte y aplicación.
- » Es fácil de moldear, fuerte y durable.
- » A prueba de agua y resistente a la acción de productos químicos y a la corrosión.
- » Resistente al ataque de insectos, bacterias, hongos y roedores.
- » Buen aislante acústico, térmico y eléctrico, es auto extingible y no propaga el fuego.
- » Lo mejor es utilizarlas bajo tierra, ya que su exposición al sol elimina algunas de sus propiedades.

Aplicaciones

Debido a sus múltiples características es un material utilizado en diversidad de aplicaciones como, por ejemplo: productos médico-hospitalarios, embalaje de alimentos, piezas de alta tecnología, tuberías, productos de construcción y saneamiento, juguetes, revestimientos de pared, carcasas de productos electrónicos, automóviles, tejidos etc.

Polietileno de baja densidad (LDPE)

Pertenece a la familia de los polímeros olefínicos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno, puede reciclarse como el resto de los termoplásticos. Tiene una estructura de cadenas muy ramificadas, lo cual le brinda su característica baja densidad.

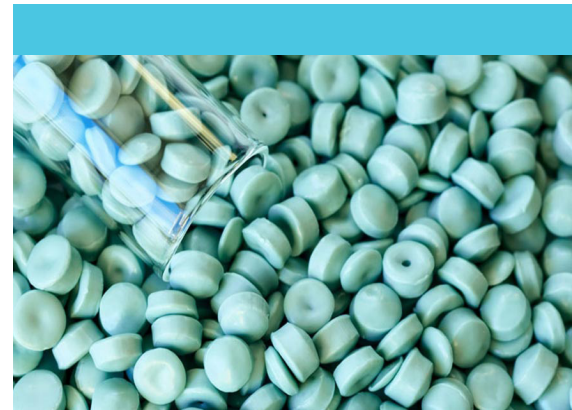


Figura 52. LDPE. Fuente: envaselia.com

Características [48]

- » Alta resistencia al impacto.
- » Resistencia térmica y química.
- » Se puede procesar por inyección o extrusión, hay facilidad de producir.
- » Tiene una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad.
- » Su coloración es transparente, aunque se opaca a medida que aumenta su espesor.
- » Difícilmente permite que se imprima, pegue o pinte en su superficie.
- » Bajo costo

Polietileno de alta densidad (HDPE)

Es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, formado por múltiples unidades de etileno. Se obtiene por adición, es decir, sumando distintas unidades de etileno, sus moléculas apenas presentan ramificaciones, lo que le brinda una alta densidad molecular, traducida a una gran resistencia y dureza, así como una mayor tolerancia a las altas temperaturas. Esta característica es, a su vez, la principal diferencia entre el polietileno de alta densidad y el de baja densidad [50].

Características [51]

- » Resistencia química y a la corrosión
- » Peso ligero
- » Nula absorción de humedad
- » Posee alta resistencia a la tensión
- » No es tóxico, tampoco mancha
- » Buen desempeño en el termoformado

Aplicaciones [49]

La flexibilidad lo convierte en un material ideal para la fabricación de bolsas y sacos de plástico, así como film transparente, tanto doméstico como industrial. También en tuberías, juguetes, cables, envases y tapones de plástico, cartones de leche, envases para detergentes y otros productos químicos, piezas de automóviles, etc.



Figura 53. HDPE Fuente: elempaque.com

Aplicaciones

Se pueden fabricar objetos como tuberías, garrafas de productos de limpieza, tapones de envases de todo tipo o mesas y sillas de plástico. Debido a su resistencia a las altas y bajas temperaturas permite la fabricación de tuberías para fluidos y contenedores geotérmicos. Puede contener productos químicos de distinto tipo. Es frecuente encontrar envases y tapones para medicamentos y cosméticos.

Síntesis

Los materiales señalados anteriormente poseen diversas características que los hacen aptos para la fabricación del sistema de riego, sin embargo, el material que aporta mayor calidad y se asemeja a los requisitos solicitados para la tubería emisora es el Policloruro de vinilo (PVC) el cual, según la investigación presenta un consumo comparativamente bajo de energía en su fabricación, transformación y uso, lo que reduce su costo y aporta calidad al producto, aportando una buena relación costo-beneficio, económico y medioambientalmente. Su flexibilidad permite realizar mejoras o adiciones rápidas, su costo es competitivo, por lo mencionado anteriormente la relación precio-calidad es muy bueno.

Además, que es un material fácilmente accesible, es decir, es posible encontrar variaciones y en diversas presentaciones a lo largo del país, la tubería utilizada será una estándar de 1"(pulgada).

- **Semielaborados**

En el caso del material a utilizar para el resto del sistema, es decir, tubería primaria, secundaria y terciaria, se pueden utilizar ambos materiales, sin embargo, poseen desventajas y ventajas según sea el utilizado; la elección del material le puede ahorrar costos o manufactura.

Tubería PE

Por el análisis realizado anteriormente, se puede ver que soporta mayor presión de agua para sistemas por goteo, atributo necesario ya que el agua debe poder salir por los minúsculos agujeros que posee el sistema de riego. Además, se puede utilizar en exteriores, ya que es resistente a los rayos UV. Su costo no es elevado y es accesible para el consumidor. También se puede complementar con accesorios de riego del mismo material.

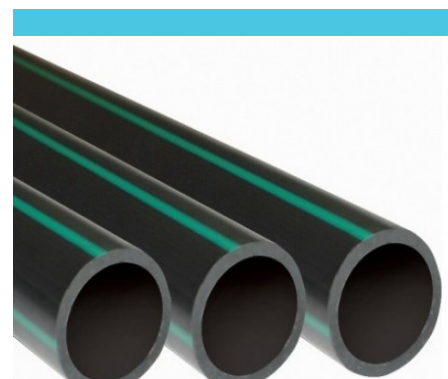


Figura 54. Tubería PE. Fuente: aquasoft.com.co

Sistemas de unión de tubería PE

Existen diversos tipos de uniones a realizarse según sea el caso [52].

- **Unión por Termofusión**

Con una maquinaria específica se realiza la unión en corto tiempo de dos tubos mediante el calentamiento de sus extremos, conformando al final un solo tubo.

El sistema por termofusión puede ser realizado según dos técnicas, la primera es una unión por socket, la cual se realiza sin accesorios, soldándose los tubos entre sí. Y la segunda es unión por tope, en la cual se usan accesorios y herramientas especiales.

- **Unión por Electro fusión**

La unión se realiza a través de una pieza de conexión especial en muy corto tiempo, en el que se insertan los extremos de los tubos se conecta a los terminales a una máquina de electro fusión que envía energía eléctrica a un accesorio, transformándolo en energía térmica uniéndolos.

- **Unión por compresión**

Se puede realizar a través de accesorios de compresión o mecánicos, los cuales se pueden unir un extremo de un tubo con el extremo de otro, de iguales o diferentes diámetros, o en su defecto, unir el tubo con alguna otra pieza. La unión entre el accesorio y la tubería se da a través de un anillo de goma que los sella.

- **Unión mediante collarín**

Se utiliza para la derivación de tuberías de menor diámetro y para la instalación de ventosas, válvulas de alivio, manómetros y otros equipos.

Tubería PVC

El PVC como se menciona anteriormente puede decaer en sus propiedades al exponerse directamente al sol, gracias debido a que posee un contenido de negros de carbono o humo que son resistentes a los efectos de los rayos ultravioleta, esto lo hace menos resistente al exterior, sin embargo, su durabilidad es amplia, ya que su vida útil puede ser hasta de un máximo de 60 años [53].

Sistemas de unión de tubería PVC

Existen diversos tipos de uniones a realizarse según sea el caso [54].

- **Unión con junta elástica**

Esta unión también es conocida como unión espiga, en uno de los laterales los tubos tienen una campana conformada con un nicho donde se encuentra un anillo empaque de material elastomérico el cual hace el sello hermético, por el otro lado tiene la espiga. Es muy fácil de instalar. Tiene como desventaja que requiere muros de apoyo en los cambios de dirección y ramificaciones.

- **Unión Cementada**

Unión consistente entre tuberías con aberturas (bocinas) o con conexiones usando una sustancia cementante, cuya reacción química con el PVC provoca que las dos piezas cementadas queden soldadas entre sí. Útil en estaciones de bombeo, cabezales de riego y unión a otros equipos. Requiere cierto tiempo de secado antes de ser sometidas a presión, lo cual demora la puesta en marcha del sistema después de una reparación.

- **Unión con Brindada**

Es utilizada principalmente para hacer uniones con piezas de hierro fundido y otros materiales, además para unir a válvulas, medidores de flujo, bombas de agua, filtros etc.



Figura 55. Tubería PE. Fuente: aquasoft.com.co

- **Unión roscada**

La unión roscada es un sistema de unión desmontable basado en la combinación de dos piezas, en una de las cuales se ha labrado una rosca helicoidal por el exterior y en la otra una rosca helicoidal complementaria por el interior.

- **Unión mediante collarines**

Se utiliza para la derivación de tuberías de menor diámetro y para la instalación de ventosas, válvulas de alivio, manómetros y otros equipos.

Accesorios de unión de tubería PVC

Estos accesorios permiten unir segmentos de tuberías. Hay dos tipos, las soldadas donde se realiza la unión mediante la cementación para PVC o por juntas roscadas.

- **Codos y curvas**

Permite un cambio de dirección en la estructura de la tubería con diversos ángulos. Los codos angulares o curvas causan que haya una menor pérdida de carga que los codos, debido a su geometría.

- **Tees / Yees**

Se utilizan para realizar derivaciones o ramificaciones en los conductos de las tuberías.

- **Reducciones**

Permite la unión de tubos de diferente diámetro, ya sea a uno mayor o uno menor.

- **Tapones**

Este accesorio es un remate o cierra al final de los ramales y tubos, ya sea para posibles ampliaciones o cierre definitivo.

- **Adaptadores Macho y Hembra, Espigas**

Varían bastante, se puede hacer el cambio de un extremo liso a rosca.

Síntesis

Debido al análisis anterior, se define que el material a utilizar para reducir costos y también por facilidad de unión, ya que presenta ventajas en el diseño es el PVC, así como sus componentes de unión en un estándar de 1", esto para realizar el sistema en un solo material y no utilizar más implementos; la unión cementada con accesorios o bocina no requiere mano de obra especializada, es relativamente barata en comparación con los otros tipos de unión, además su resistencia resulta ideal para el sistema en cuestión, por lo que si el agricultor desea armar el sistema lo pueda realizar sin ayuda de expertos. Además, brinda la posibilidad de escalar el sistema si así se desea.

Sensor de humedad

Es un dispositivo que mide la humedad actual o contenido volumétrico del agua (VWC) del suelo, ayudan al agricultor a programar el abastecimiento y la distribución de agua durante el riego de forma mucho más eficiente, optimizando el uso de agua para un crecimiento óptimo de las plantas [55]. Se pueden clasificar en según [55]:

Sensores terrestres

Este tipo de sensor de humedad se coloca en el suelo para controlar la zona radicular.

Sensores aéreos

Los datos se obtienen mediante VANTs (Uso de vehículos aéreos no tripulados) y que rara vez se utilizan para cartografiar la humedad del suelo.

Sensores satelitales

Estiman la situación desde el espacio. No interfieren con las actividades de campo y ayudan a ahorrar costes y a prescindir de instalaciones que requieren mucha mano de obra.



Figura 56. Sensor de humedad. Fuente: aquasoft.com.co

Para un mejor uso de dichos sensores de humedad se debe tomar en cuenta que una vez se haya decidido colocar sensores de humedad del suelo, según su uso, habrá que instalarlos, calibrarlos y ajustarlos constantemente.

Los especialistas deberán tener en cuenta:

- Ubicación y forma de colocación de los dispositivos y la distancia entre ellos.
- La cantidad de dispositivos.
- La profundidad de la instalación.
- Tiempo de recalibración, lectura e interpretación de los datos.

Síntesis

Debido al tipo de proyecto y al usuario al que se pretende enfocar el producto, se utilizará sensores de humedad terrestre que son los tipos de sensores con los que más se relacionan dichos usuarios, sin embargo, a futuro se puede reemplazar por una tecnología más avanzada como son los sensores satélites que han ido en evolución en los últimos años.

Algunos de los sensores terrestres encontrados en el mercado pueden ser analógicos o digitales mostrando siempre el mismo tipo de información, el pH del suelo, la humedad del suelo y muchas veces la intensidad de rayos UV, además van en un rango de precio alto, medio y bajo según lo que requiera el usuario.

Aspersor

La utilización de los aspersores en el producto es opcional, su principal objetivo sería lavar las hojas del cultivo cuando así se requiera, ya que el riego se realiza por medios subterráneos. Los aspersores se pueden clasificar de la siguiente forma según [56]:

Aspersores rotativos de impacto

Estos aspersores utilizan el impacto del agua sobre una pequeña pala oscilante. Pueden ser diseñados para diferentes ángulos de chorro e invertir para regar sectores circulares. Largo y mediano alcance (figura 57).

Aspersores rotativos de turbina

Tienen una turbina dentro de su sistema de funcionamiento, este regula el ángulo del chorro del agua y permite su desplazamiento, permite un mayor alcance del chorro de agua. Se utiliza en jardines y zonas pequeñas (figura 58).

Aspersores de plato rotativo

Tienen una boquilla de bajo arrastre, baja presión y bajo alcance, son más modernos y han sustituido a los de turbina (figura 59).

Difusores

Se colocan estáticos en el terreno, son sistemas sencillos en funcionamiento, son de baja presión del agua y riegan un sector en concreto del terreno. No mantiene un riego constante en su circunferencia de riego (figura 60).

Síntesis

El aspersor que presenta un mejor rendimiento y abarca mayor superficie desperdiciando menos agua y cubriendo mayor superficie es el aspersor rotativo de impacto. En el mercado se encuentran varias opciones que se adecuan a las necesidades de cada cliente, terreno o tipo de operación.



Figura 57. Aspersor Rotativo Impacto.

Fuente: aliexpress.com



Figura 58. Aspersor Rotativo Turbina.

Fuente: hunterindustries.com



Figura 59. Aspersor Plato Rotativo.

Fuente: eldulcehogar.es



Figura 60. Difusor. Fuente: tuandco.com

Llaves de paso

Al sistema se le debe incluir su respectiva llave de paso, la cual controla la salida y presión del agua, está conectada a la tubería secundaria, es decir, se encuentra conectada directamente con la bomba y el filtro central del tanque de agua. Esta llave de paso va a permitir que el usuario regule el riego y este no se dé de forma constante sobre regando el terreno y los cultivos.

Existen llaves de paso automáticas controladas mediante softwares y/o aplicaciones especializadas que programan el riego, lo cual resulta muy útil en terrenos cultivados de gran tamaño, ya que se ahorra mano de obra, sin embargo, se corre el riesgo de que se sobre riegue el cultivo sin necesidad, al no haber interferencia humana o algún mecanismo que haga un cálculo de la humedad de la tierra.

La funcionalidad y forma de estas son muy similares en el mercado, tienden a cambiar el material del que se componen, pero su morfología es la misma. Según los materiales seleccionados, la llave de paso de PVC se ajusta al modelo definido, además, al igual que las piezas anteriores se consigue en una pieza estándar de 1".



Figura 61. Llave de paso.. Fuente: Aliexpress.com

- **Forma Función**

El producto responde a un sistema de tuberías que se alinean con las parcelas de los cultivos convencionales para no competir con el modelo mental ya establecido, sin embargo, la tubería emisora se coloca de forma subterránea para alcanzar las raíces de los cultivos y así sus diversos agujeros generen un bulbo húmedo en la tierra y este se expanda uniformemente y llegue a la zona radicular de otras plantas, reduciendo el uso de más boquillas de riego o emisores y minimizando la invasión del terreno subterráneo. Las tuberías terciarias miden una pulgada aproximadamente y los emisores tienen un grosor de media pulgada, la secundaria tiene un grosor de dos pulgadas, la tubería primaria tiene un diámetro mucho mayor al del resto ya que esta está conectada a la red principal de agua. El sistema es escalable ya que se puede seguir agregando más tuberías si el sistema crece.

Se compone de cuatro partes y tres componentes, los cuales son:

Partes

Tubería primaria, brinda agua a todo el sistema de riego, está conectada a la bomba de agua.

Tubería secundaria, se utiliza para crear la estructura de las hileras del resto del sistema.

Tubería terciaria, son las hileras que se trasladan al largo y ancho de la parcela y contiene a la porta emisores o tuberías emisoras.

Tubería emisora, son pequeños tubos conectados a la tubería terciaria, posee pequeños orificios.

Componentes

Accesorios de unión, une cada una de las tuberías entre sí.

Llave de paso, controla el flujo de agua dentro del sistema.

Medidor de humedad, es un componente externo a la estructura.

Aspersor, este accesorio se puede colocar o no, es opcional según las necesidades del cliente.

Árbol de funciones

Se construye un árbol de funciones que describe cada función, con el objetivo definir y categorizar las funciones del sistema.

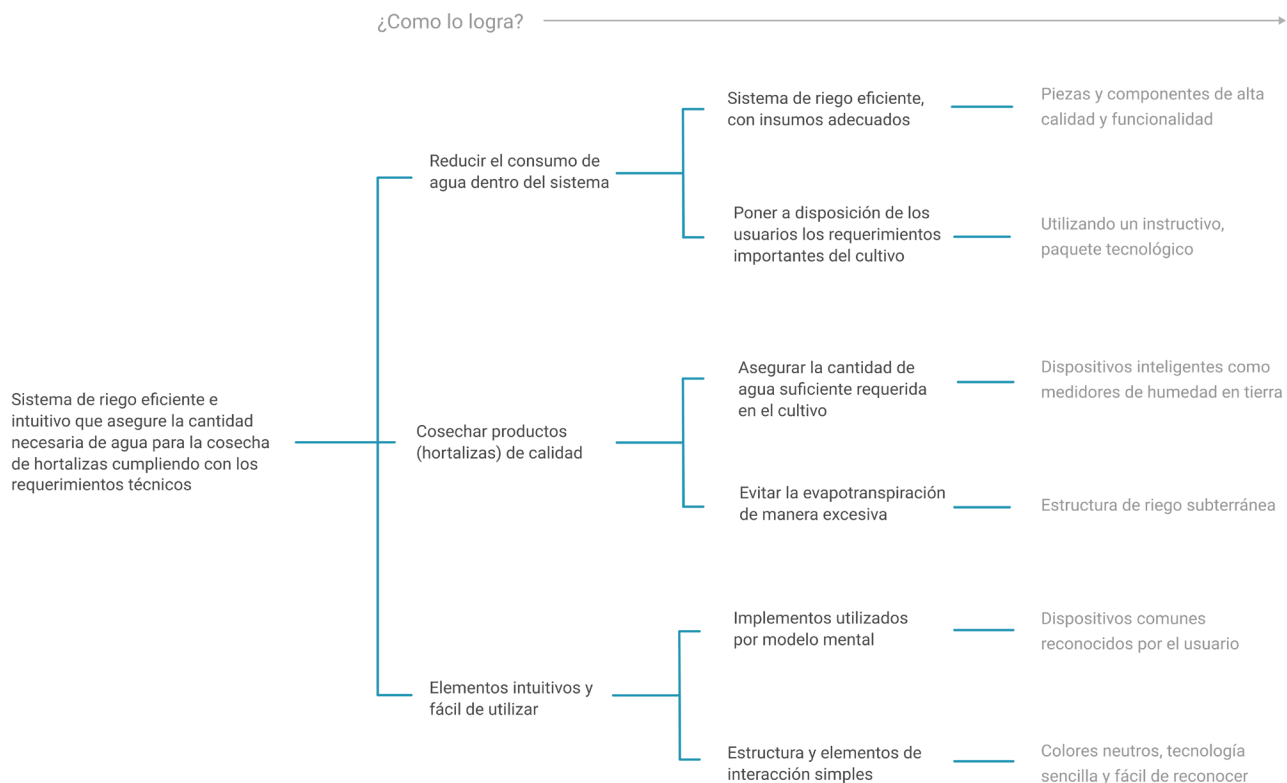


Figura 62. Árbol de funciones. Fuente: Elaboración Propia

- **Uso**

Se adjunta un manual instructivo de un paquete tecnológico que cuenta con la especificación técnica del producto, su funcionamiento, materiales, forma de instalación y uso, etc. Además de algunas alternativas de fabricación del producto, costos y mantenimiento en caso de querer ser replicado. Es un manual instructivo que le brinda una ayuda especializada al usuario.

El mantenimiento que requiere el sistema es mínimo, ya que todas sus piezas y componentes son reemplazables, es decir, una vez que se dañan no hay post-uso de los elementos, pero se pueden reciclar, además, es importante recalcar que no es necesario desechar todo el sistema.

En sí, la secuencia de uso del sistema es simple una vez instalado, los pasos incluyen abrir y cerrar la llave de agua y medir la humedad en tierra; el proceso de cultivar no se incluye en la secuencia de uso del sistema.

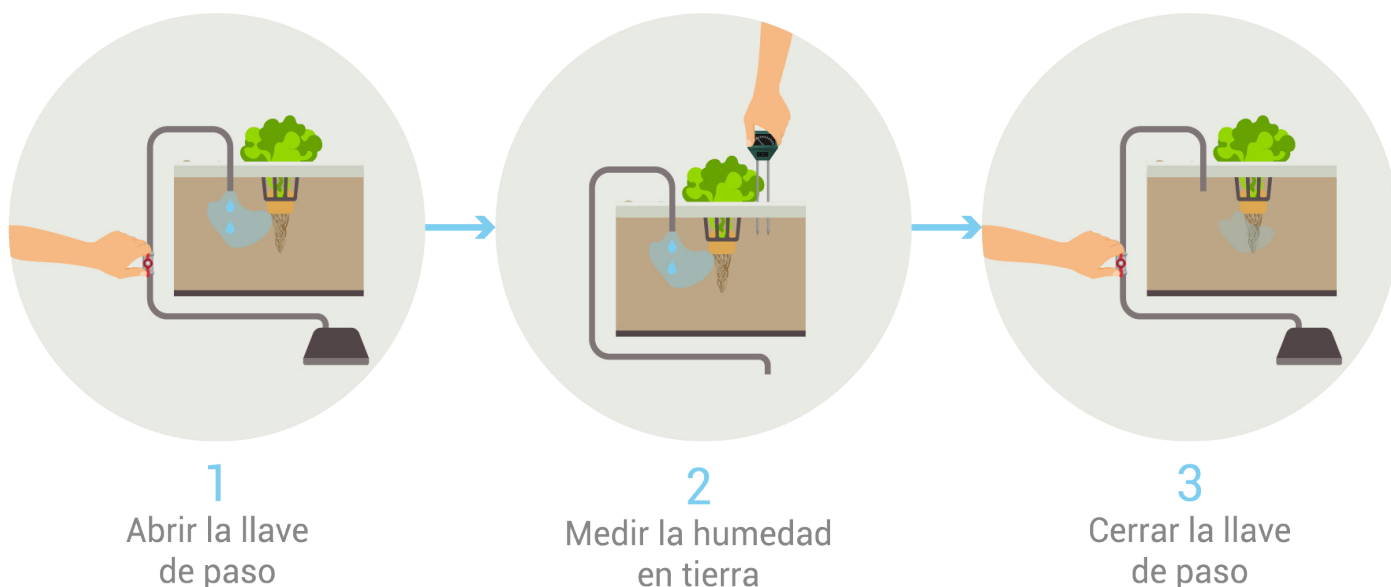


Figura 63. Secuencia de uso. Fuente: Elaboración Propia

Escenario de Transformación

En este escenario se detalla los procesos de transformación de cada uno de las piezas o materiales utilizados en el sistema, así como la tecnología utilizada, su armado y el control de calidad. La mayoría de este escenario se incluye en el paquete tecnológico que funciona como un pequeño manual de uso, procesos, materiales y componentes del sistema.

- **Tecnología y Procesos de manufactura**

Para el sistema de riego propuesto no se requiere de maquinaria o equipo especializado, ya que sus partes y componentes son materiales semielaborados que no requieren de mucha manufactura, sin embargo, a continuación, se detallan algunos procesos necesarios para construir el sistema, entre ellos el método utilizado para obtener el principal material utilizado en el sistema, la tubería.

Corte

El corte de la tubería por lo general se realiza con una següeta, cierra circular o con una cuchilla especial (ver figura 64, 65 y 66) para tubería PVC y PE. De forma convencional se marca el tubo o la pieza y se realiza el corte.



Figura 64. Cierra circular. Fuente: cadena88.com



Figura 65. Herramienta de corte. Fuente: AliExpress.com



Figura 66. Cegueta. Fuente: monederosmart.com

Extrusión

El material ya sea una resina o polímero se funde por la acción de temperatura y fricción, el polímero es forzado a pasar por un dado encargado de proporcionarle una forma predefinida para luego ser enfriarlo para evitar deformaciones permanentes [57].

La maquinaria utilizada (ver figura 64) en el proceso es una máquina extrusora que posee un tornillo sin fin metálico impulsado por un reductor de velocidad que a su vez está conectado a un motor eléctrico, que se encuentra situado dentro de un cilindro metálico revestido con una camisa que tiene instalada varias resistencias eléctricas.

En un extremo del cilindro se encuentra una tolva para alimentar de la materia prima que ingresa en forma de pellets o gránulos, en la punta del tornillo se ubica la salida del material y el dado que le da la forma final al plástico; después es necesario enfriarlo rápidamente puesto que el material caliente podría perder dicha forma [57].

- Armado

Secuencia de armado

1. Marcaje del terreno

Establecer un patrón sobre el terreno, esto se considera fundamental para instalar el sistema de riego, se procede a marcar el terreno con el patrón establecido.

2. Realizar un cálculo aproximado del caudal de agua

Verificar que el volumen de agua que atraviesa el terreno o superficie sea el correcto para la eficiencia del riego.

3. Definir los materiales e insumos según el área de riego

Calcular el área a regar para definir la cantidad de material, piezas y componentes necesarios para el riego en esa área definida.

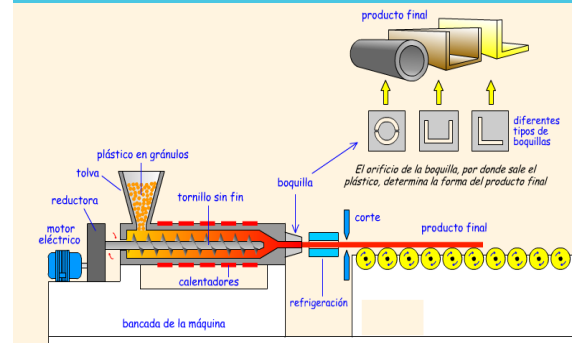


Figura 67. Extrusión de plásticos. Fuente: silviatechnology



Figura 68. Armado 1. Fuente: Elaboración propia

4. Conexión de tuberías

Colocar cada sección de tubería en las zonas definidas anteriormente y de forma estratégica. Se coloca la tubería primaria a la fuente del agua y esta tubería a la secundaria mediante la unión cementada, lo siguiente es agregar las válvulas o llaves de paso a las tuberías secundarias. A la fila de la tubería secundaria se le unen las tuberías terciarias en hileras y a estas se les colocan con el sistema de unión, las tuberías emisoras.

5. Realizar pequeños agujeros para la tubería emisora

Realizar en el marcaje del terreno pequeños agujeros provisionales de una profundidad aproximada a la del emisor, para poder ingresar por ellos la tubería de forma sencilla.

6. Revisar el estado de la tubería

Es necesario revisar las tuberías para corroborar que funcione bien y haya flujo de agua en ellas, verificar que no existan filtraciones, residuos o partículas en el interior.

7. Conectar aspersores (opcional)

Se realiza la conexión de los aspersores en puntos estratégicos según requerimiento del cliente.

- **Control de calidad**

Para el control de calidad es necesario asegurarse que el sistema se instaló de forma correcta, que no existen filtraciones de agua y no hay obstrucciones en las tuberías, además, se debe medir la presión y el caudal del agua para que el paso de la corriente sea el adecuado. Y que los materiales utilizados en las tuberías sea el adecuado según su uso y que resista las condiciones del clima.



Figura 69. Armado 2. Fuente: Elaboración propia

- Diagrama de flujo

Se desarrolla un diagrama de flujo para representa la esquematización gráfica del proceso de fabricación del sistema de riego "Aqua".

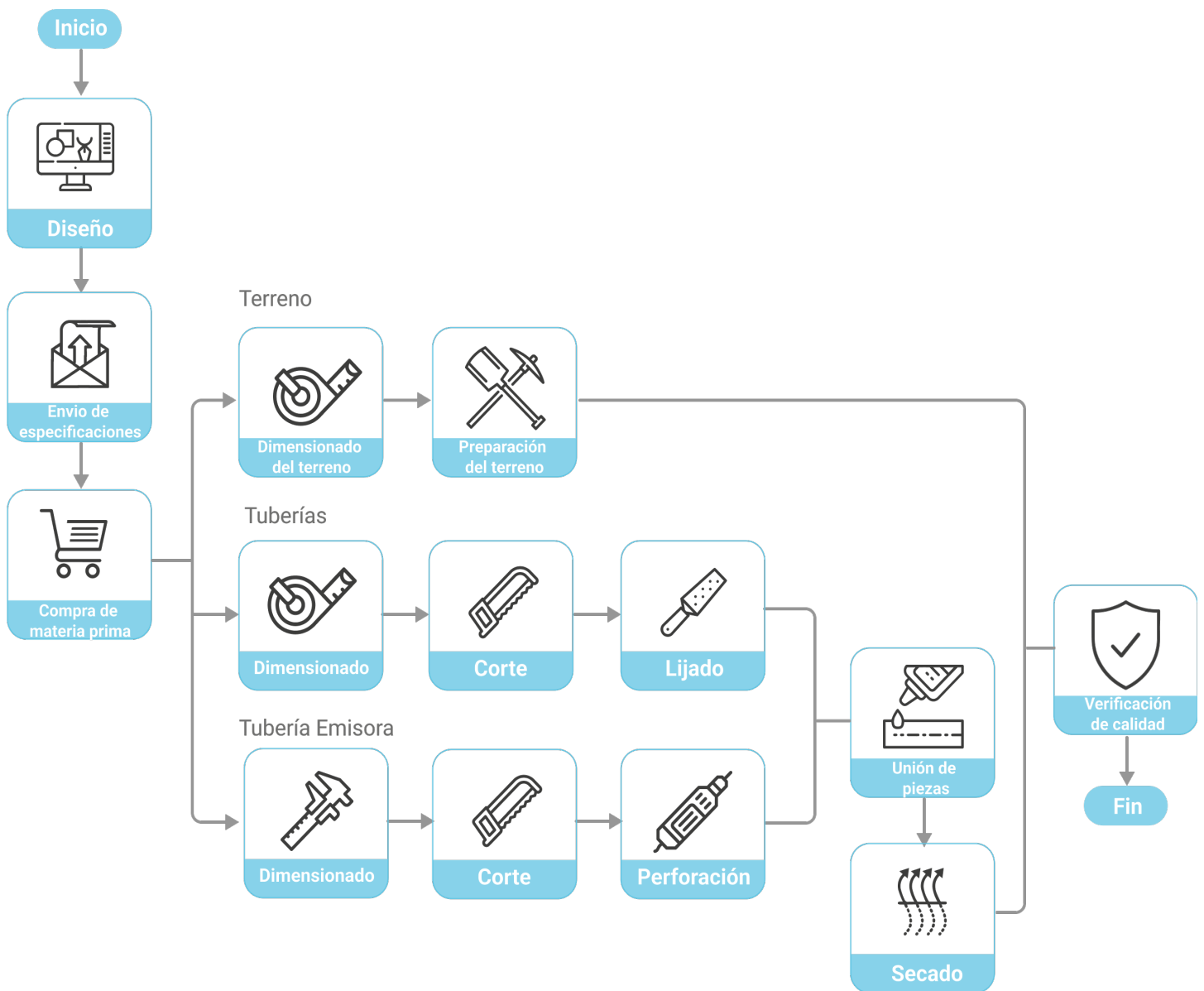


Figura 70. Flujograma de construcción Sistema Aqua. Fuente: Elaboración Propia

Escenario de Comunicación

Este escenario va a permitir más adelante posicionar la marca o el producto en el mercado, ya que como lo dice su nombre, la idea es comunicar lo que representa el producto y como quiere ser visto, en este caso si se presenta de forma efectiva al posible cliente o consumidor, información adicional que acompañará al producto como lo es el paquete tecnológico que funciona como manual y sus canales difusión es decir su publicidad, a continuación, se detalla cada variable.

- **Marca**

La marca será más del paquete tecnológico, que, del sistema de riego, sin embargo, se plantea un logotipo sobrio y adecuado al mercado y enfocado al tema, por lo que se nombró como "Aqua", con elementos representativos al mismo.

La tipografía utilizada es Quicksand Bold Regular, con dos Pantone, uno en tono gris y un tono en cyan, la letra "q" de la tipografía representa a la tubería emisora del sistema de riego.

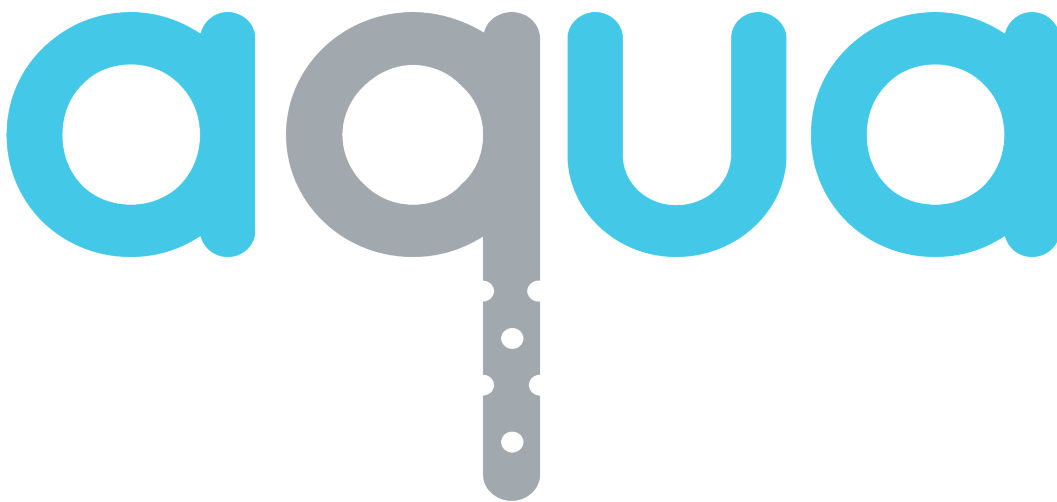
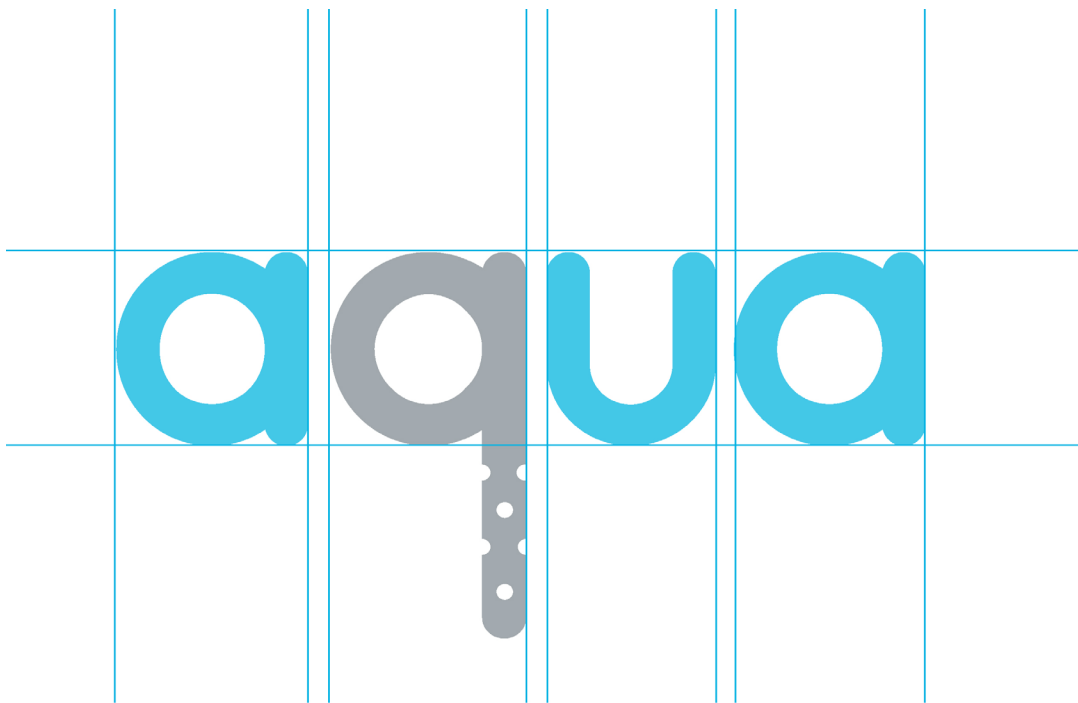


Figura 71. Logo Aqua. Fuente: Elaboración Propia



- Pantone 305 C
 - Pantone 429 C
- Quicksand Bold Regular**

Figura 72. Logo Aqua diseño. Fuente: Elaboración Propia

- **Empaque**

El empaque en sí es una pequeña caja con su marca, que contiene el manual (paquete tecnológico) y un modelo 3D a escala de la tubería emisora para poder replicarla en la tubería a utilizar en el sistema de riego, la presentación del empaque se plantea sea en cartón para proteger el manual y mantener su integridad durante el transporte o en el lugar que se almacene, se pretende que se vea como la siguiente figura o imagen.



Figura 73. Empaque Aqua. Fuente: Elaboración Propia

- Soportes gráficos

El paquete tecnológico representa un pequeño manual con las instrucciones de armado, componentes y materiales a utilizar disponibles en el mercado y algunas indicaciones sobre cultivos, etc. El manual se verá como la figura 74 y será lo que se le entregará al cliente.



Figura 74. Manual y paquete tecnológico Aqua. Fuente: Elaboración Propia

- **Publicidad**

Se pretende a mediano o largo plazo publicitar el producto para el sector de mercado definido ya sea en vía pública, presencia en eventos, ferias o stands, esto se puede realizar plasmando la marca y el producto en mupis, vallas o stands de exposiciones. A continuación, se presentan algunas imágenes de ejemplos.



Figura 75. Mupis anuncio Aqua. Fuente: Elaboración Propia



Figura 76. Cartelera Aqua. Fuente: Elaboración Propia

Escenario de Consumo

Este escenario va a permitir se vuelve a retomar el usuario y el segmento al que se dirige el producto, además de como se desea definir el posicionamiento del sistema en el mercado.

- **Público**

En el caso del público la escala del público que lo puede llegar a necesitar o consumir es un nicho, en este caso el sector hortícola o agrícola, ya sea para pequeños agricultores o empresas grandes dedicadas a la agricultura. Es un tipo de segmentación demográfica ya que, entre otras cosas, tienen la misma ocupación. Dicho público ya conoce sobre los implementos existentes en cuanto a sistemas de riego y por lo general adquieren los productos fácilmente en el mercado.

Consumidores

Los consumidores serían los empresarios o personas que poseen terreno agrícola y que requieren de un sistema de riego que le aporte la cantidad suficiente de agua a su cultivo sin desperdiciarla.

Usuarios

Son los agricultores que están en contacto directo con el cultivo y el sistema de riego, ya sean peones agrícolas o los supervisores.



Empresas Agrícolas



Agricultores/Peones

Figura 78. Usuarios y consumidores. Fuente: Elaboración Propia

- **Posicionamiento**

Para lograr posicionar el producto o sistema de riego en las empresas y agricultores se toma como estrategia el beneficio que aporta desde el punto de vista de ahorro, no solo del recurso hídrico sino también desde el punto de vista económico ya que no se requiere de equipo altamente especializado para realizar el riego, además de que es un sistema que se puede escalar, es decir, que se puede expandir con el terreno de forma sencilla, sin necesidad de reemplazar los materiales anteriores. Además, se le brinda al cliente el manual o paquete tecnológico que lo guía en el uso del mismo y en los diversos componentes que puede adquirir según su posición económica y como adaptarlo al cultivo que desee regar.

Existen 4 tipos de posiciones en el mercado:
Líder, Retador, Seguidor y Especializados

Aqua se encuentra ubicado en el puesto de **especializado**, ya que se centra en usuarios específicos para un fin en específico, es decir, el sistema de riego es para el nicho específico que fue descrito anteriormente. No se le cataloga como retador o seguidor ya que la idea es brindar el paquete tecnológico como una forma de aportar al ambiente y no generar una competencia en el mercado.

Se busca que sea un producto **diferenciado** porque pretende que los usuarios generen un poco de empatía y conciencia con el ambiente y la importancia de preservar el agua y saber cómo cosechar sus cultivos de forma adecuada.

Un producto **reconocido** por su capacidad de aprovechamiento y ahorro de agua en la tierra, consiguiendo cultivos de alta calidad, sin generar pozos y contaminación por riego excesivo.

Y **descrito** como un sistema económico, fácil de utilizar y que se adecua a las necesidades de sus clientes.

Prototipado

A partir de la propuesta obtenida en la matriz de selección, además de las mejoras propuestas por la ingeniera agrícola y diseñadora; se inicia el proceso para la elaboración del prototipo físico. En este caso se desarrolla una fracción del sistema de riego, es decir, un pequeño segmento de lo que se colocaría en una parcela completa. Se utilizó PVC para su elaboración, además de los semielaborados o complementos necesarios en el producto y lo costos aproximados.

Prototipo

Como primer paso en el prototipo se imprimió en una máquina 3D, la pieza de la tubería emisora (ver figura 79) para realizar una pequeña prueba con ella, gracias a ello se determinaron cambios posteriores en el prototipo.



Figura 79. Prototipo de tubería emisora. Fuente: Elaboración Propia

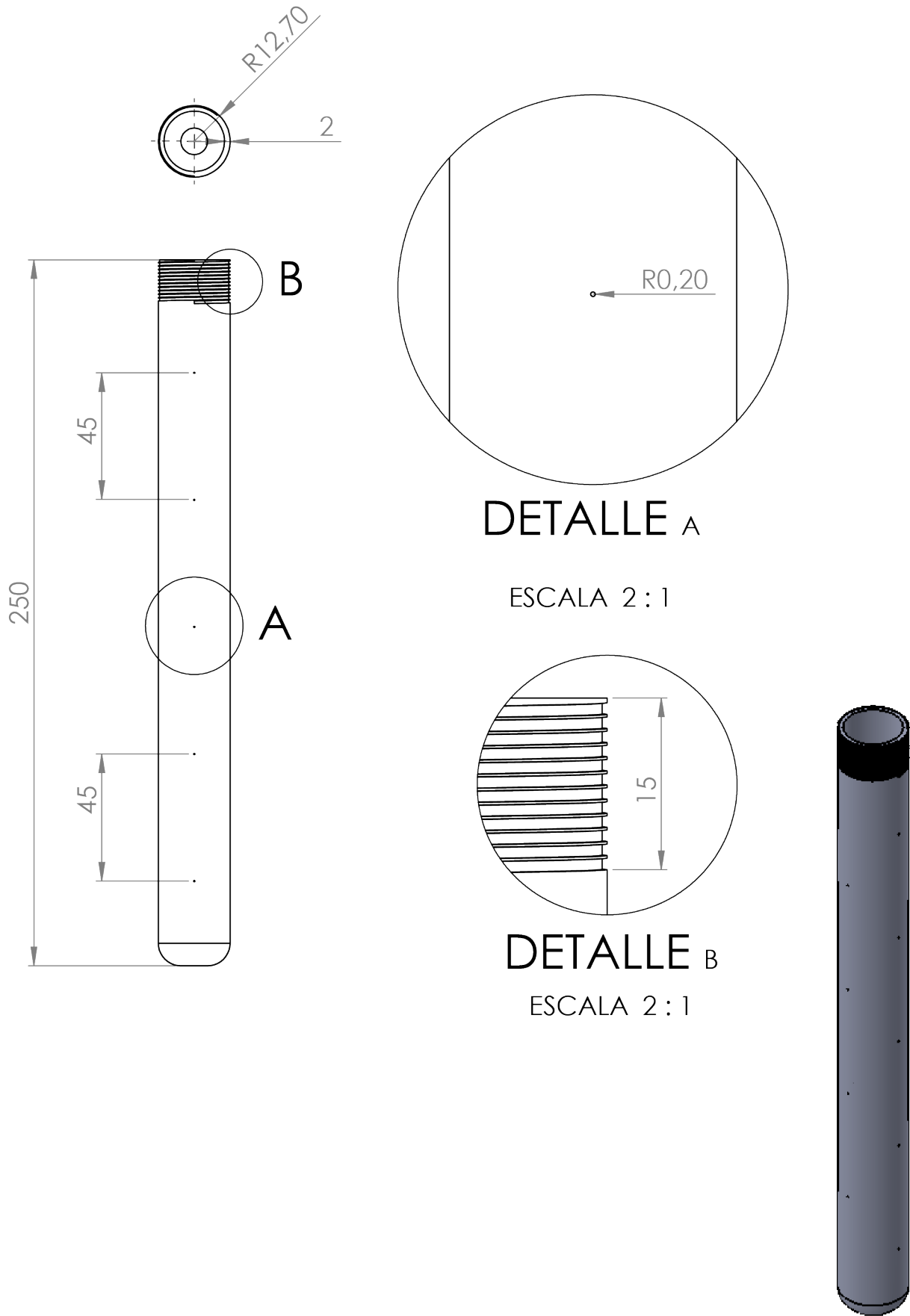


Figura 80. Plano de tubería emisora. Fuente: Elaboración Propia



Figura 81. Collage Partes prototipo. Fuente: Elaboración Propia



Figura 82. Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia



Figura 82. Resumen construcción Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia

Una vez armado el prototipo se procedió a la instalación en el terreno o parcela, para realizar la validación del mismo.



Figura 83. Secuencia de instalación Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia

Costos

Se realizó una lista de los precios aproximados de los componentes y piezas del sistema, ya que el precio total varía dependiendo del tamaño de la parcela a instalar.

Tabla 5. Costos aproximados

Componentes o pieza	Cantidad	Precio
Tubería PVC 1"	1 metro	₡ 750
Piezas "T" PVC	1	₡ 150
Codos PVC	1	₡ 75
Tapones PVC	1	₡ 150
Llave de paso	1	₡ 700
Segueta	1	₡ 850
Soldadura PVC wet dry	237 ml	₡ 5 850

Validación

Se procedió con la validación en campo del prototipo, el sistema se instaló en una parcela en Lourdes de Agua Caliente para poder realizar las pruebas necesarias y además se contó con la ayuda de tres usuarios, quienes eran peones agrícolas de la zona.

La prueba se trató de una comparación en la eficiencia del sistema en cuanto la humedad emitida por el sistema en un tiempo determinado. Se comparó con el riego por cinta, el cual puede ser muy eficiente. Esta prueba fue realizada con un sensor de humedad con escala 10.

Usabilidad

Los resultados obtenidos de la validación en cuanto al uso fueron satisfactorios ya que, los usuarios mencionaron que no tuvieron problema con el funcionamiento del principal sistema de interacción, el cual es la llave de paso de agua, elemento con el cual la mayoría de las personas interactúa regularmente, debido a esto los usuarios según lo expresado por ellos no presentaron ningún tipo de carga mental a la hora de utilizarlo. En cuanto al uso del sensor de humedad, no se encontraban muy familiarizados con el aparato, sin embargo, al ser un dispositivo "universal" encontrado en el mercado, resultó sencillo de utilizar, esto debido a que su forma de mostrar la humedad es muy intuitiva y fácil de reconocer, ya que es una medición de escala.

Además que la instalación mediante la guía dada no les tomó mucho tiempo, aunque si mencionaron que la instalación en un clima seco con tierra poco flexible, la instalación tal vez se tardaría un poco más de lo que se puede prever, es necesario tomar en cuenta los tipos de tierra existentes ya que puede ser arcillosa, franca o arenosa [58], lo que perjudica o no su instalación.



Figura 84. Interacción. Fuente: Elaboración propia

Funcionalidad

En cuanto a la evaluación de la funcionalidad del prototipo Aqua, se realizó de forma básica. Con respecto a la presión del agua, ésta fue adecuada al modelo para que no presentará problemas con la estructura, ya que se componía de una pequeña sección y una presión del caudal muy alta podía afectar los resultados.

Un punto importante de destacar es que durante la prueba no se presentaron obstrucciones de tierra en la tubería emisora, algo que podía ocurrir al prescindir de películas protectoras, que no ocurriera esta obstrucción permitió que el agua pasara por los orificios sin problema y hacer el riego de manera adecuada.

Así mismo, durante el riego con Aqua y las pruebas de humedad en tierra, se pudo ver que la humedad en tierra aumentó de forma muy rápida, por lo que se procedió a cerrar el paso de agua antes del tiempo planeado. También, se realizó una comparación del sistema Aqua con el sistema utilizado en el sitio, el cual es riego por cinta.

Esta comparación se realizó con el fin de probar la eficiencia del sistema Aqua, midiendo la humedad percibida en la tierra que está en contacto directo con las raíces, en un rango de tiempo de riego y presión idéntica. Como se puede observar en la figura 85.



Riego por Cinta

aqua

Figura 85. Secuencia de instalación Prototipo Aqua. Fuente: Elaboración Propia

La humedad obtenida de la tierra con el riego por cinta en la escala del 1 al 10 del sensor es de 2 puntos, contrario a la de Aqua que arrojó una medida de 8.5 puntos en la escala, si nos basamos en esta única prueba se podría decir que en apariencia el sistema Aqua tiene un mejor aprovechamiento de agua en tierra. Igualmente, es necesario realizar a futuro una segunda fase de pruebas comparativas con este y otros tipos de sistemas de riego existentes, para poder reafirmar o no estos datos obtenidos.



04 VALOR AGREGADO

El valor agregado se encuentra en la posibilidad que se le da al usuario ya sea agricultor, empresa u otro de poder acceder a una tecnificación del riego según su cultivo, es decir, podrá regar de manera eficiente su producto al tener información sobre su cultivo y lo que este necesita independientemente del tamaño de su parcela, finca o terreno, lo que busca a su vez satisfacer sus expectativas de uso y funcionalidad. Esto a su vez reducirá el desperdicio y contaminación de agua y su huella hídrica.

Además, se evitarán estancamientos de agua al ser un sistema semisubterráneo donde el agua nunca sale a la superficie, reduciendo la proliferación de plagas.

También como se menciona en puntos anteriores está la posibilidad de una instalación escalonada donde equipe su terreno progresivamente, sin necesidad de realizar un cambio total del sistema y además de adaptarlo al terreno.

Por otro lado, brindar un manual de instalación permite que personas inexpertas puedan entender un poco cómo funciona el sistema y obtenga un poco de información del cultivo.

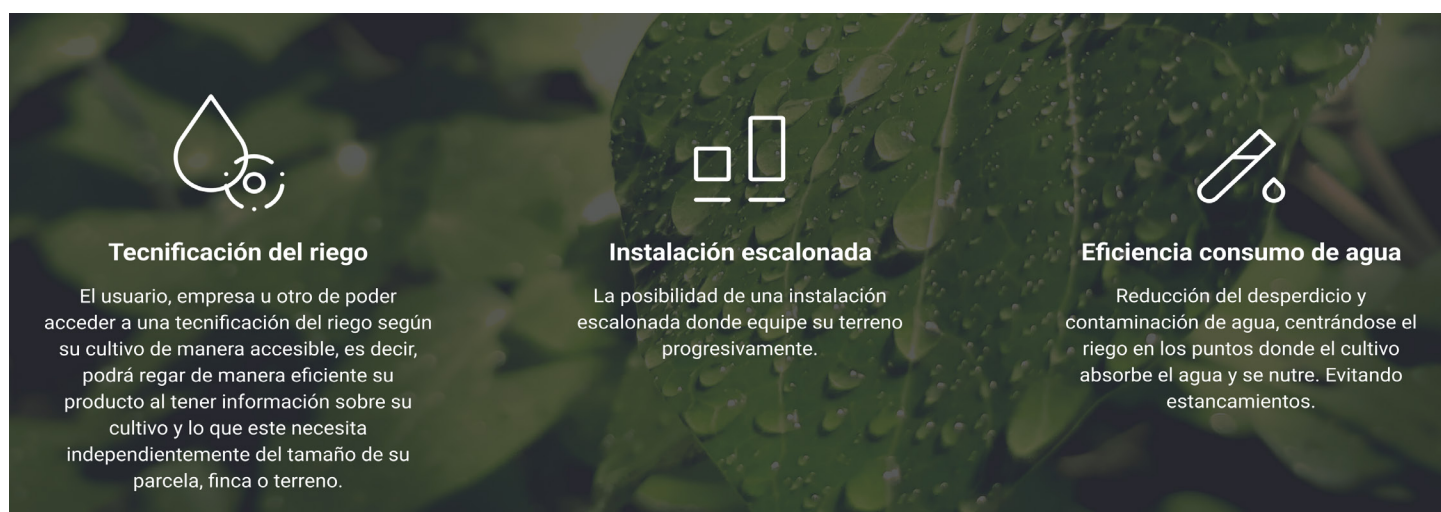


Figura 86. Resumen de Valor Agregado Aqua. Fuente: Elaboración Propia



05 CONCLUSIONES

Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que el sistema Aqua con los resultados de sus primeras pruebas demostró ser eficiente y brindar agua al cultivo en un menor tiempo y además que perdure esa humedad en la tierra para seguir llevando nutrientes a la planta aprovechando casi el 100% del agua regada, al no ser afectada por fenómenos externos.

De igual manera, es posible afirmar que para que un sistema sea al menos medianamente eficiente no es necesario utilizar mucha tecnología en su fabricación y desarrollo, que la simpleza de un sistema hace que incluso este sea más accesible para los usuarios que no pueden especializar su finca en riegos tecnológicos pero que si desean tener una buena producción y gestionar correctamente el recurso hídrico.

También se recomienda implementar el sistema a escalas mayores, comprobar su resistencia, eficiencia y funcionalidad para poder afirmar su efectividad.

Una recomendación es utilizar los materiales adecuados para su manufactura para asegurar éxito en el sistema, que se sigan las medidas específicas recomendadas para la tubería emisora, ya que un orificio más grande al previsto puede provocar desperdicio de agua y regar en exceso a la planta.

Ya una vez que se hayan realizado más pruebas y se asegure que el sistema funciona en diversos terrenos y es eficiente, se aconseja seguir con el plan estratégico para el posicionamiento y hacer uso de la publicidad y soportes gráficos para hacer reconocido el producto, que otros agricultores ajustados al nicho lo utilicen y reduzcan su huella hídrica.

Por último, es importante agregar que aunque el porcentaje de ahorro de agua quizá sea mínimo con el sistema Aqua en comparación con el probado y que con las mejoras y estudios pertinentes puede llegar a ser, en el peor de los casos, un punto más eficiente frente a los otros sistemas; es significativo resaltar que si este tipo de investigación y tecnología se transfiere a más parcelas el impacto puede ser mayor y más representativo, no solo en el ahorro del recurso, sino en la conducta del usuario con respecto mejorar su gestión del recurso hídrico. Además de impulsar a más profesionales a investigar, idear y probar técnicas, productos o sistemas que aporten con la conservación del agua.



06 REFERENCIAS

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). "Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo". Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/#:~:text=La%20agricultura%20representa%20casi%20el,en%20algunos%20países%20en%20desarrollo>. (accedido el 28 de julio de 2022).
- [2] Programa Estado de la Nación y Consejo Nacional de Rectores, Estado de la Nación 2022. San José, 2022.
- [3] INEC, "Experiencia para el desarrollo de estadísticas ambientales y consolidación del Sistema Nacional de Información Ambiental en Costa Rica: sistema de indicadores de agua", en Seminario Sustantivo Estadísticas Ambientales CEA CEPAL, 7 de abril 2021., San José, Costa Rica, 7 de abril de 2021. pp. 17–21. [En línea]. Disponible: <https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/desarrollo-estadisticas-ambientales-costa-rica-inec.pdf>
- [4] "El agua en la agricultura". World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#:~:text=En%20promedio,%20en%20la%20agricultura,la%20evapotranspiración%20de%20los%20cultivos>. (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [5] "ONU-Habitat - Comprender las dimensiones del problema del agua". ONU-Habitat - ONU-Habitat. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua#:~:text=Alrededor%20del%2036%%20de%20la,en%20las%20ciudades%20es%20limitado>. (accedido el 25 de agosto de 2022).
- [6] "Objetivos de Desarrollo Sostenible". Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). "FAO". Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC003004/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [8] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, "Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030", San José, Costa Rica, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/AyA%20Política%20Nacional%20de%20Agua%20Potable%20de%20Costa%20Rica%202017-2030.pdf>
- [9] M. A. Martínez Guzman, TECNOLOGÍAS PARA EL USO SOSTENIBLE DEL AGUA: Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. Tegucigalpa: FAO, 2013.
- [10] "Hogares ticos consumen más agua que resto de centroamericanos". ASOCIACION INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA. <https://www.inteco.org/blog/noticias-2/hogares-ticos-consumen-mas-agua-que-resto-de-centroamericanos-146> (accedido el 16 de septiembre de 2022).
- [11] J. C. Solórzano, "TECNICAS y PRODUCCION AGRICOLA EN", Filosofía Universitaria, XXIV, n.º 59, pp. 85–92, 1986. [En línea]. Disponible: <http://inif.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista%20de%20Filosofía%20UCR/Vol.%20XXIV/No.59/Tecnicas%20Y%20Produccion%20Agricola%20En%20Costa%20Rica%20En%20La%20Epoca%20Colonial.pdf>
- [12] INEC, "Experiencia para el desarrollo de estadísticas ambientales y consolidación del Sistema Nacional de Información Ambiental en Costa Rica: sistema de indicadores de agua", en Seminario Sustantivo Estadísticas Ambientales CEA CEPAL, 7 de abril 2021., San José, Costa Rica, 7 de abril de 2021. pp. 17–21. [En línea]. Disponible: <https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/desarrollo-estadisticas-ambientales-costa-rica-inec.pdf>

- [13] S. Leiva y L. León, "El valor del agua de la comunidad agrícola rural La Perla de Macabí- Razuri, para la gestión sostenible - 2021", Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo, Trujillo, 2021. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81975>
- [14] E. Mora Delgado, S. Santamaría Badilla y R. Solano Villalobos, "Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera *elaeis guineensis jacq.* en los distritos de palmar, sierpe y piedras blancas, para el periodo 2013-2016", Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, 2019. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18142>
- [15] C. Mendoza-Pérez, «USO DE PROGRAMA IRRIMODEL PARA LA PROGRAMACION DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*)», AP, vol. 11, n.º 1, ene. 2018.
- [16] M. T. Flores Vasquez, "RECURSOS HÍDRICOS Y LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE PAPA EN LOS CASERÍOS DE MATUPAMPA Y TAMBO DEL DISTRITO DE CANTA, REGIÓN LIMA- 2015", Maestría, Universidad Federico Villareal, Lima, 2018. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1921?show=full>
- [17] F. Soto Bravo, "Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero", *Agronomía Costarricense*, vol. 42, n.º 2, junio de 2018. Accedido el 15 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15517/rac.v42i2.33779>
- [18] C. R. Gavilanes Romero y A. M. Vega Dunnaway, "Diseño de un sistema de riego por goteo para hortalizas en Zamorano, Honduras", Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Zamorano, 2014. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/11036/3468>
- [19] Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura. San José: Sede Central IICA, 2015.
- [20] L. A. Gurovich, *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1985.
- [21] J. Pineda. "Tipos de Sistemas de Riego". *encolombia.com*. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/tipos-de-sistemas-de-riego/> (accedido el 14 de mayo de 2022).
- [22] A. Losada, "Glosario sobre sistemas de riego", *Ingeniería del agua*, vol. 4, n.º 4, diciembre de 1997. Accedido el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4995/ia.1997.2736>
- [23] R. Fernández Gómez, M. d. C. Yruela Morillo, M. Milla Milla, J. P. García Bernal y N. A. Oyonarte Gutiérrez, *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios*. Andalucía: Junta de Andalucía., 2010. Accedido el 1 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- [24] "Los componentes imprescindibles en una instalación de riego". *Sistemas de riego Pivot - Traxco S.A.* <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/elementos-instalacion-de-riego> (accedido el 31 de agosto de 2022).
- [25] "Horticultura | Diccionario de la lengua española". «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/huerto> (accedido el 14 de mayo de 2022).
- [26] "huerto | Diccionario de la lengua española". «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/huerto> (accedido el 14 de mayo de 2022).

- [27] ISHS | International Society for Horticultural Science. "Defining Horticulture | International Society for Horticultural Science". ISHS | International Society for Horticultural Science. <https://www.ishs.org/defining-horticulture> (accedido el 14 de mayo de 2022).
- [28] C. Ramírez Vargas y J. Nienhuis, "Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 25, n.º 2, p. 10, agosto de 2012. Accedido el 03 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.303>
- [29] J. J. Castro Retana, "La huerta", Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Boletín informativo N° 110, 1992. [En línea]. Disponible: <http://www.mag.go.cr/biblioteca-virtual/F01-1101.pdf>
- [30] Automatización y telecontrol de sistemas de riego - 1. edición. Marcombo Ediciones Técnicas, 2010.
- [31] C. Ramírez Vargas y J. Nienhuis, "Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 25, n.º 2, p. 10, agosto de 2012. Accedido el 03 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.303>
- [32] A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya y M. M. Mekonnen, *The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard*. London: Water Footprint Network 2011, 2011. [En línea]. Disponible: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessment-Manual_2.pdf
- [33] "Huella Hídrica en la producción de cultivos bajo riego: todo lo que necesitas saber". KILIMO. <https://academia-deriego.kilimoagtech.com/huella-hidrica-en-la-produccion-de-cultivos-bajo-riego-todo-lo-que-necesitas-saber> (accedido el 18 de mayo de 2022).
- [34] R. Munns y M. Tester, *Mechanisms of Salinity Tolerance*, vol. 9. *Plant Biol*, 2008. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- [35] Banco Mundial y El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, "GUÍA PARA EL DESARROLLO DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO". [En línea]. Disponible: https://vinculate.concytec.gob.pe/wp-content/files/Paquete_Tecnologico_VF_1.pdf
- [36] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 6a ed. Mexico DF: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. [En línea]. Disponible: <https://www-ebooks7-24-com.ezproxy.itcr.ac.cr/stage.aspx?il=&pg=&ed=>
- [37] M. F. Barrera Morales, *Modelos Epistémicos en investigación y educación*. Caracas: Fundación Sypal, 2008.
- [38] J. Hurtado de Barrera. "La investigación proyectiva". *Investigación holística*. <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/02/la-investigacin-proyectiva.html> (accedido el 13 de junio de 2022).
- [39] P. Becerra, A. Cervini, "En torno al producto. Diseño estratégico e innovación Pyme en la Ciudad de Buenos Aires", 2005. Buenos Aires, Argentina.
- [40] "Sector Agropecuario invierte 4.530 millones para mejorar productividad en Cartago". Presidencia de la República de Costa Rica. <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/09/sector-agropecuario-invierte-4-530-millones-para-mejorar-productividad-en-cartago/> (accedido el 13 de junio de 2022).

- [41] T. Otzen y C. Manterola, "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio", *International Journal of Morphology*, vol. 35, n.º 1, pp. 227–232, marzo de 2017. Accedido el 15 de junio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4067/s0717-95022017000100037>
- [42] R Hernández Sampieri, A Cuevas Romo & C Mendoza Torres, *Fundamentos de investigación*. México, D.F.: McGraw-Hill,(2017).
- [43] A. Cooper y K. Goodwin, *Designing for the Digital Age: How to Create Human-Centered Products and Services*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011.
- [44] E. Molina y E. Victorero, "La agricultura en países subdesarrollados. Particularidades de su financiamiento", CLACSO, La Habana, 2015. [En línea]. Disponible: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/cieih/20150908010537/Financiamientoagricultura.pdf>
- [45] GFA Consulting Group S.A., "ESTUDIO DEL ESTADO DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE Y PROPUESTA DE MECANISMOS PERMANENTES PARA EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE.", San José, mayo de 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-0851.pdf>
- [46] Emac Complementos S.L, "Ficha Técnica PVC", España, Ficha técnica. [En línea]. Disponible: https://www.construnario.com/bc3/3647/FT_PVC.pdf
- [47] "¿Qué es el PVC? ¿Cuáles son sus principales propiedades y ventajas?" AcoPlásticos. <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/37-opc-fag-pre5> (accedido el 28 de octubre de 2022).
- [48] "Características y aplicaciones del polietileno de baja densidad (LDPE)". QuimiNet. <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-2663472.htm>.
- [49] Qué es el polietileno de baja densidad LDPE ó PEBD". Empresa de Envases - Envaselia. <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-o-pebd-id19.htm> (accedido el 20 de octubre de 2022).
- [50] "Qué es el polietileno de alta densidad HDPE ó PEAD". Empresa de Envases - Envaselia. <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm> (accedido el 19 de octubre de 2022).
- [51] "HDPE". MCAM - führender Hersteller thermoplastischer Werkstoffe. <https://www.mcam.com/na-es/productos/plasticos-maquinables/estandar/hdpe/> (accedido el 20 de octubre de 2022).
- [52] "Tubería Polietileno (PE): accesorios y sistemas de unión". Blog profesional de Válvulas Arco. <https://blog.valvulasarco.com/tubos-de-polietileno-pe-accesorios-sistemas-de-union#:~:text=Las%20tuberías%20de%20polietileno,%20o,jardines,%20agrarios%20y%20combustibles%20gaseosos> (accedido el 31 de octubre de 2022).
- [53] C. Vargas. "Tuberías plásticas y sistemas de unión en instalaciones de PE y PVC". Grupo Hidráulica. <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/06/28/tuberias-plasticas-sistemas-de-union-en-instalaciones-pe-y-pvc/> (accedido el 8 de noviembre de 2022).
- [54] V. Cherlinka. "Sensores De Humedad Del Suelo En La Agricultura de Precisión". EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/sensores-de-humedad-del-suelo/#:~:text=Un%20sensor%20de%20humedad%20del,crecimiento%20óptimo%20de%20las%20plantas> (accedido el 9 de noviembre de 2022).
- [55] "Moisture Meters". Reotemp Instruments. <https://reotemp.com/compost/moisture-meters/> (accedido el 8 de noviembre de 2023).

- [56] C. Vargas. "Acoples de compresión: qué son, tipos y aplicaciones". Grupo Hidráulica. <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/06/27/acoples-compresion-que-son-tipos-y-aplicaciones/> (accedido el 8 de diciembre de 2022).
- [57] CENTRO NACIONAL DE ACTUALIZACIÓN DOCENTE, "Módulo III "Moldea plásticos mediante el proceso de inyección"", Manual, junio de 2014. [En línea]. Disponible: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181996_02.pdf
- [58] [58] Universidad Nacional de Riego, "Formación del bulbo húmedo", DAG_Doc6 Formación del bulbo húmedo. [En línea]. Disponible: http://www.universidadderiego.com/wp-content/uploads/2017/02/DAG_Doc6_formacion-del-bulbo-humedo.pdf

Enlace a manual:

https://drive.google.com/drive/folders/1BiLI13_HCj5cYkwIn-h3F5YKrE5JCXrxG?usp=share_link

Mapa Mental



Matriz comparativa

D. Cuadro Comparativo

	Decaimiento de la salud emocional	Inseguridad ciudadana	Gestión y manejo inadecuado del recurso hídrico
Principales hallazgos a partir de la consulta bibliográfica	<p>La pandemia y el confinamiento redujeron la calidad de vida de todas las personas afectando su salud emocional y por lo tanto también la física, las consultas a psicólogos aumentaron debido a esta problemática; el teletrabajo y muchas veces no tener un horario definido, empezar a ser multitareas con el trabajo, la familia y el hogar, agota significativamente a la población. Como menciona Gallo [1] al entrevistar a varias personas, entre ellos, psicólogos dijeron sentirse abrumados y con mayor ansiedad por la situación de aprender a utilizar nuevas herramientas tecnológicas y no tener un horario claro de trabajo en casa.</p> <p>En los últimos años se ha evidenciado un aumento significativo de patologías como ansiedad, estrés y depresión en jóvenes de entre 18-24 años según las investigaciones de la OMS nombradas en el diario El País [2].</p> <p>Un dato importante es el que se menciona en la revista Diversitas [3]: "La frecuencia de trastornos mentales en general, y la ansiedad en particular, es mayor en poblaciones con factores de riesgo sociales, clínicos y ambientales". Además, se puede observar que afecta un poco más a las mujeres que a los hombres. En la misma revista indican que su salud emocional puede ser mejor o peor dependiendo de su profesión u oficio y solucionar o tratar a tiempo los problemas de salud emocional disminuyen el fracaso académico [3].</p> <p>Los países latinoamericanos invierten muy poco en esta área de la salud según [4]: "En promedio, sólo el 3% de los presupuestos de salud de los gobiernos se invierten en salud mental, que van desde menos del 1% en los países de bajos ingresos al 5% en los de altos ingresos", esto es casi la mitad de lo que invierten los países no hispanos.</p>	<p>En un artículo publicado en la Revista de Ciencias Sociales [5] destacan que la inseguridad ha aumentado debido a los altos índices de pobreza y bajos salarios, que impulsan a las personas a cometer crímenes, también señalan que el aumento de extranjeros en el país ha afectado la seguridad. En esta misma revista indican según investigaciones que la violencia o criminalidad en Costa Rica no ha crecido tan significativamente, sin embargo, los medios de comunicación han realizado una divulgación desmedida que da esa percepción. Costa Rica alcanzó la cifra de 11,5 homicidios por cada 100 000 habitantes en el año 2015, una cifra récord [6], lo que genera mayor sentimiento de inseguridad. Las zonas donde ocurren mayor cantidad de asaltos son en el área metropolitana, donde se asienta la mayoría de la población.</p> <p>El acoso en las calles es tema de cada día y aunque existe una ley que lo pena, no detiene a la gente de hacerlo, según un artículo publicado por la Universidad de Costa Rica [7]: "El acoso en las calles es tema de cada día y aunque existe una ley que lo pena, no detiene a la gente de hacerlo".</p> <p>"Las percepciones de vulnerabilidad de las mujeres consigo mismas influyen en un mayor miedo al crimen, lo cual repercute en que estas exhiban una percepción negativa de la delincuencia, evitando lugares públicos o buscando significativos físicamente fuertes que ejerzan un rol protector para con ellas"[8], también se encontró que a mayor edad mas miedo e inseguridad se percibe [8].</p>	<p>Existen proyectos a nivel de gobierno y SENARA como el Proyecto para la gestión integrada del recurso hídrico, donde su objetivo es contribuir con el desarrollo humano sostenible mediante la gestión integrada de los recursos hídricos y servicios de apoyo. Como menciona la UCR [9] este tiene tres componentes en la gestión del recurso hídrico como lo son: aguas subterráneas, riego, y drenaje.</p> <p>En un reporte del periódico La Nación [10] resaltan que los mantos acuíferos, peces y los habitantes de Costa Rica están expuestos a la contaminación por metales pesados, estos son liberados por la basura electrónica que no reciben un tratamiento adecuado y que llegan a liberar sustancias como cromo, plomo, mercurio, entre otros, esto contamina el agua que se bebe y además daña las especies marinas.</p> <p>La Universidad de Costa Rica resalta en un artículo que [11]: "La red de distribución nacional permite que el agua potable llegue al 91% de la población costarricense, hay un 13,4% del total de agua residual del país que no recibe tratamiento después de su uso", esto trae como consecuencia que ese 13% contamine gran parte de otras fuentes de agua.</p> <p>En la revista Hoy en el TEC [12] mencionan que si se mejoran la gestión y el abastecimiento de agua se pueden promover el crecimiento económico de los países y por ende reducir la pobreza.</p> <p>Según la OMS [13]: "de aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua", además de aumentar las enfermedades "El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielititis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año."</p> <p>En Costa Rica existen cientos de proyectos para proteger el agua, además de hacer un buen manejo de ella, uno de los más importantes es el plan de Política Nacional de Agua Potable 2017-2030, como se menciona en la página de la presidencia de la República [14] este: "busca promover la protección y el aprovechamiento, mediante la gestión participativa e integral para el aprovechamiento del recurso hídrico dentro del ciclo hidro-social."</p>
Principales hallazgos a partir de las conversaciones	<p>Las diferencias en la crianza actual afectan mayormente a la población ya que no hay tanto acompañamiento por parte de familiares. Existe mucha influencia de los medios de comunicación y redes por relacionarse de ciertas formas que afectan a las personas que no cumplen esos estándares.</p> <p>La deficiente salud emocional es vista como la raíz de otros problemas como los físicos.</p> <p>Las personas han perdido el miedo a comunicar como se sienten y tienden a buscar ayuda, sin embargo, la situación económica dificulta que se pueda hacer algo al respecto, sin embargo, no suelen contarles a sus familiares, sino que buscan apoyo con amistades.</p> <p>La pandemia ha causado mucha ansiedad no solo por el miedo a ser contagiado de Covid-19, sino también por el confinamiento ya que se perdió mucho la interacción social.</p> <p>La vida actual, todo es muy acelerado y la gente busca que se cumplan muchos estándares.</p>	<p>A pesar de las calles están más llenas de policías que hace algunos años, aún se siente la inseguridad de transitar por algunas calles del país.</p> <p>La mayoría de las mujeres se sienten más seguras si están acompañadas por un hombre al salir a la calle.</p> <p>La gente está buscando como defenderse por sus propios medios, ya que la justicia no actúa rápido.</p> <p>Se evita transitar por las llamadas zonas rojas o por lugares o muy solos o concurridos, para así no ser asaltados o violentados.</p> <p>Se teme estar en una zona donde pueda ocurrir un conflicto ya sea por violencia, drogas, ajuste de cuentas u otros y terminar herido.</p>	<p>Hay mucha contaminación del recurso en su mayoría en los ríos, cerca de zonas urbanas e industrializadas. Los desechos no tienen un adecuado manejo por lo que siguen contaminando aún más el agua y distintas zonas.</p> <p>La cultura que se ha inculcado en Costa Rica es el que el agua es inagotable y no la cuidan, por lo que hay mucho desperdicio de ella.</p> <p>Existe mucha publicidad de conservación del agua, sin embargo, la población no le da mucho interés, en especial las zonas donde abunda el agua.</p> <p>Muchas industrias contaminan y utilizan mucho el agua, no tienen un plan para el manejo de esta, por lo que otras zonas se ven afectadas. La industria piñera y de ropa contaminan mucho el agua.</p> <p>El sistema de alcantarillado y saneamiento está mal, ya que ocurren múltiples inundaciones y estas son recurrentes.</p>
Ventajas de investigar el tema	<p>Se le puede dar énfasis a un tema donde no existen muchos productos que ayuden a mejorar la salud emocional.</p> <p>Se puede ayudar a la personas a sentirse mejor física y emocionalmente si este se desarrolla.</p> <p>Existe mucha información al respecto, por lo que se puede ahondar en él.</p> <p>Hay muchos profesionales de la salud dispuestos a ayudar y brindar información.</p> <p>Se puede generar aún más conciencia sobre el tema.</p>	<p>Hay muchas fuentes de información y entidades públicas que poseen conocimientos del tema.</p> <p>La posibilidad de encontrar solución a una amenaza que es constante y latente.</p> <p>Se puede medir la problemática mediante informes policiales.</p>	<p>Actualmente las universidades públicas realizan muchas investigaciones sobre el tema, por lo que se puede trabajar en conjunto para tener buen contenido.</p> <p>Es un tema de alta relevancia a nivel nacional e internacional.</p> <p>Se pueden encontrar múltiples soluciones a las problemas que se enfrenta la población por el agua, logrando así cubrir necesidades.</p>
Desventajas de investigar el tema	<p>No hay muchas formas de medir los resultados o tener certeza de que se ha reducido el problema.</p> <p>Los pacientes no siempre están dispuestos a ayudar y dar testimonios sobre su salud mental y emocional.</p>	<p>Hay que realizar trabajo de campo para reconocer las necesidades de las personas que se enfrentan a este problema, por lo que puede ser peligroso.</p>	<p>Se puede dificultar la obtención de información mas especializada en el campo.</p> <p>Hay múltiples problemas relacionados al agua por lo que no se pueden abarcar todos y hay que delimitarlos.</p>

Cuadro de antecedentes

A. Matriz

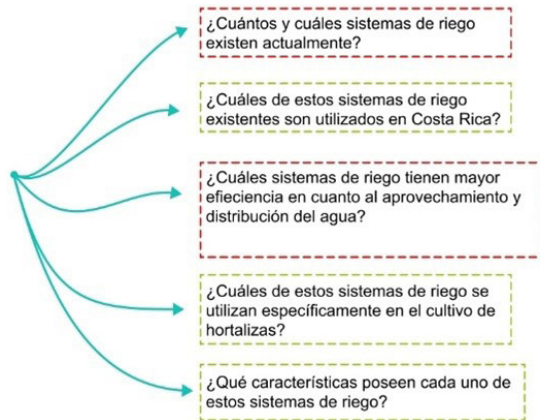
Nombre del trabajo consultado	Autor(es)	Fecha de publicación del estudio	Necesidad o problema planteado en el estudio	Metodología usada para desarrollar el estudio	Resultados y conclusiones importantes del estudio	¿Por qué es importante para mi trabajo?	Referencia bibliográfica en estilo IEEE.
El valor del agua de la comunidad agrícola rural La Perla de Macabí Razuri, para la gestión sostenible 2021	Steven Leiva y Leider León	2021	Medir el valor del agua en la comunidad agrícola La Perla de Macabí- Razuri	Investigación, encuestas y análisis de las mismas	No hay un reconocimiento del valor del agua a nivel económico, sin embargo, en el ambiental si lo hay pero por parte de los adultos de mayor edad. No hay buena capacitación técnica	Comprender la vida y el manejo del recurso en comunidades meramente agrícolas y como influye en el desarrollo de proyectos.	[1] S. Leiva y L. León, "El valor del agua de la comunidad agrícola rural La Perla de Macabí- Razuri, para la gestión sostenible - 2021", Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo, Trujillo, 2021. [En línea]. Disponible: https://hdl.handle.net/20.500.12692/81975
Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera Elaeis guineensis Jacq. en los distritos de Palmar, Sierpe y Piedras Blancas	Erika Mora, Silvia Santamaría y Rosibel Solano	2019	Medir la huella hídrica y la explotación y el impacto de la agricultura en el agua	Mixta, análisis de datos cualitativos, ycuantitativos, estimaciones y elaboración de propuestas de mejora.	El exceso de fungicidas y fertilizantes contaminan no solo el agua utilizada en el riego sino que también las cuencas y salinizan los suelos, además se encontró una mala organización de los pobladores y agricultores.	El estilo de vida de la comunidad y como trabajan sus sistemas es importante para desarrollar productos que vuelvan eficientes sus procesos y evitar que sigan contaminando.	[2] E. Mora Delgado, S. Santamaría Badilla y R. Solano Villalobos, "Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera elaeis guineensis jacq. en los distritos de palmar, sierpe y piedras blancas, para el periodo 2013-2016", Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, 2019. [En línea]. Disponible: https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18142
Uso de programa IRRIMODEL para la programación de riego por goteo en el cultivo de (Zea mays L.)",	Mendoza-Pérez, C. Sifuentes-Ibarra, E. Macías-Cervantes, J. Ramírez-Ayala, C. Flores-Magdalena, H.	2018	Sequias que provocan que se limite las dotaciones normales de agua para riego impactando la productividad del maíz.	Experimental, prototipos experimentales	Los protipos aplicados con la nueva tecnología tuvieron una eficiencia de riego y producción, ahorro de agua mucho mayores al convencional.	Es un antecedente del desarrollo de un prototipo mediante nueva tecnología que puede ser estudiada y aplicada en el sector y el darrollo de la investigación y el producto mejorando la gestion y optimizándolo.	[3] E. Mora Delgado, S. Santamaría Badilla y R. Solano Villalobos, "Estimación de la huella hídrica en tres plantaciones de palma aceitera elaeis guineensis jacq. en los distritos de palmar, sierpe y piedras blancas, para el periodo 2013-2016", Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, 2019. [En línea]. Disponible: https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18142
Recursos Hídricos y la producción agrícola de papa en la agricultura en los caseríos de Matupampa y Tambo del distrito de Canta, región Lima- 2015	Miran Flores	2015	Falta de agua para la correcta producción de papa en dichas zonas, por mal abastecimiento en época seca. Determinar la incidencia del Recurso Hídrico en la Producción Agrícola de la papa en los Caseríos de Matupampa y Tambo del distrito de Canta, Región Lima	Experimental, análisis documentales, encuestas, pruebas de análisis y validaciones.	El abastecimiento del agua es deficiente y el almacenaje en las lagunas no rinde para toda la población. Se recomienda sistemas aplicados con tecnología y tecnificados.	Es importante ya que demuestra que aun teniendo sistemas de almacenaje es necesario poseer otros procesos que regulen la cantidad de agua utilizada y que esta se aproveche correctamente, por lo que brinda una vision de lo que se puede mejorar en los diseños.	[4] M. T. Flores Vasquez, "RECURSOS HIDRICOS Y LA PRODUCCIÓN AGRICOLA DE PAPA EN LOS CASERIOS DE MATUPAMPA Y TAMBO DEL DISTRITO DE CANTA, REGION LIMA- 2015", Maestría, Universidad Federico Villareal, Lima, 2018. [En línea]. Disponible: http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/19217/show=full
Parámetros de manejo del agua en tomates hidropónicos bajo invernadero	Freddy Soto	2018	Identificar valores umbrales de humedad en el sustrato, como criterio para el manejo del riego durante la etapa de producción de cultivos de chile dulce y tomate en fibra de coco bajo invernadero	Experimental y pruebas de laboratorio.	La escasez de agua afecta la producción de los cultivos, su calidad, su cantidad, por lo que se debe aprovechar incluso el tiempo y la hora de riego.	Es importante ya que nos brinda un detalle con información relevante para el desarrollo de un potencial producto y la aplicación de la tecnología.	[5] F. Soto Bravo, "Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero", Agronomía Costarricense, vol. 42, n.º 2, junio de 2018. Accedido el 15 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.15517/rac.v42i2.33779
Diseño de un sistema de riego por goteo para hortalizas en Zamorano, Honduras	Cristian Gavilanes y Andrea Vega	2014	Solventar y cubrir la necesidad del recurso hídrico en la producción de los cultivos.	Practicas de campo experimentales	El sistema resultó muy eficiente, se logró ahorrar agua y producir de manera eficiente, sin embargo, el valor económico en el que incurre el producto es muy alto para algunos tipos de cultivos y sectores.	Es importante ya que da el ejemplo de lo necesario de medir el valor económico desde un inicio del proyecto, para calcular los pros y los contra de este y de donde es necesario realmente invertir.	[6] C. R. Gavilanes Romero y A. M. Vega Dunnaway, "Diseño de un sistema de riego por goteo para hortalizas en Zamorano, Honduras", Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Zamorano, 2014. [En línea]. Disponible: http://hdl.handle.net/11036/3468

Preguntas de investigación

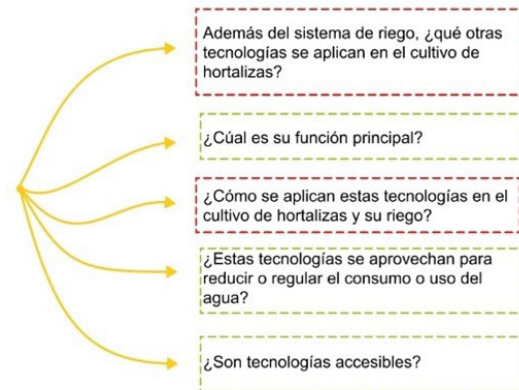
Objetivos

Preguntas

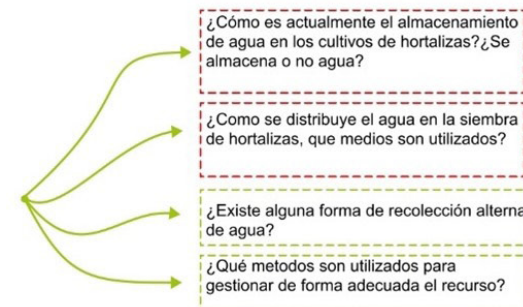
Evaluar los sistemas de riego existentes con mayor eficiencia y aprovechamiento de agua en el sector para hacer uso de sus principales características.



Identificar los distintos tipos de tecnología que puedan ser utilizados para el riego en el cultivo de hortalizas.



.Optimizar el almacenamiento del agua, así como sus canales de distribución para la gestión adecuada del recurso hídrico.



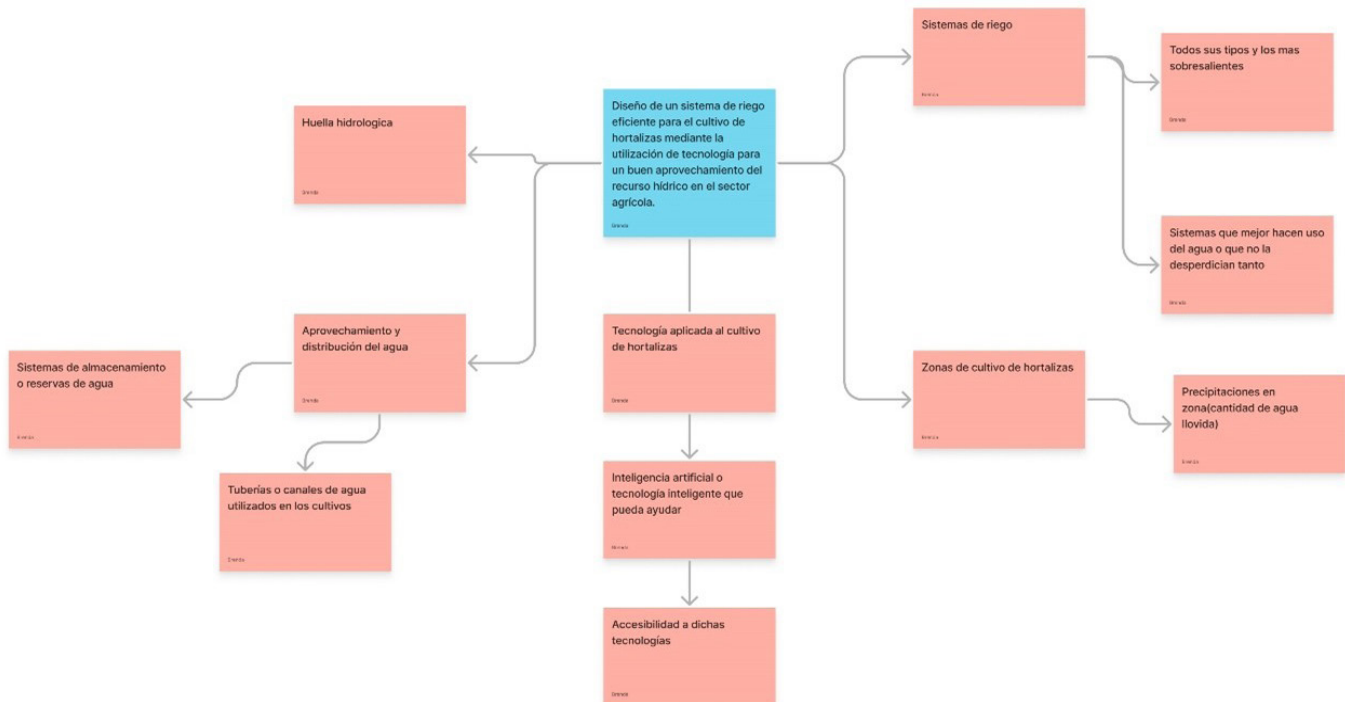
— Preguntas Principales

— Preguntas Secundarias

Ejercicio de conceptos teóricos

Link: https://www.figma.com/file/864LPCgLvOKMCyS18ajw-tx/Marco-te%C3%B3rico_seminario?node-id=0%3A1

Qué teorías deberían abordarse en el marco teórico?



Bocetos

