

Departamento
de Diseño:



TRABAJO DE GRADO

Juan Esteban Herrera Agudelo
Adinnyer Alberto Foronda Caro

Ingeniería en Diseño Industrial
Departamento de Diseño
Medellín 2024



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

HydroPlast
Diseño de sistema de riego
basado en la reutilización de
polímeros plásticos en la
agricultura

Juan Esteban Herrera Agudelo
Adinnyer Alberto Foronda Caro

Asesoras:
Laura Camila Domínguez Aguirre
Eliana Zapata Ruiz
Diana Claudia Muñoz Muñoz

Instituto Tecnológico Metropolitano
Facultad de Artes y humanidades
Departamento de Diseño
Medellín 2024

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a quienes nos acompañaron y apoyaron en este proceso. En primer lugar, a la profesora Eliana Zapata Ruiz, docente de Trabajo de Grado 2, cuya guía constante y compromiso con nuestro avance académico fueron fundamentales para superar los retos que se presentaron. Su acompañamiento nos ayudó a estructurar nuestro trabajo y a mantener el enfoque en los objetivos principales. Agradecemos también a la profesora Diana Claudia Muñoz, asesora temática de Trabajo de Grado 2, por su conocimiento y orientación en el desarrollo del contenido temático. Su experiencia y apoyo fueron cruciales para profundizar en los aspectos técnicos y teóricos de nuestra investigación. Asimismo, extendemos nuestra gratitud al profesor Fredy Alberto Alzate Arias, docente de Electrónica, por su paciencia y asistencia técnica en el diseño de los componentes electrónicos del proyecto. Su disposición para resolver nuestras dudas y compartir su experiencia enriqueció enormemente nuestro aprendizaje. A todos ellos, gracias por su dedicación, su tiempo y su confianza en nuestro trabajo; sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

Juan Esteban Herrera Agudelo
Adinnyer Alberto Foronda



ESTUDIANTE

Cédula 1035859312, 1037616113

Correo Juanherrera143903@correo.itm.edu.co,
adinnyerforonda245841@correo.itm.edu.co

RESUMEN

Este proyecto se centra en el diseño de un sistema de riego eficiente y sostenible que usa polímeros plásticos reciclados. La propuesta responde a los desafíos en la agricultura moderna, especialmente en el uso del agua, un recurso vital en riesgo. Los sistemas de riego convencionales presentan limitaciones importantes, como fugas y pérdidas de agua por evaporación, que afectan la sostenibilidad en zonas rurales de Antioquia, Colombia.

Nuestra iniciativa busca reducir el impacto ambiental transformando residuos plásticos en componentes clave para el sistema de riego, lo cual no solo aprovecha materiales desechados, sino que también contribuye a una agricultura más responsable y consciente del entorno. En el desarrollo del proyecto, se evaluaron las opciones actuales y se propusieron mejoras que optimizan el consumo de agua y disminuyen el gasto energético, con la intención de generar un sistema de riego accesible y de bajo costo para pequeños agricultores.

Como resultado, diseñamos un prototipo que utiliza válvulas de micro goteo fabricadas a partir de polímeros reciclados. Estas válvulas regulan el flujo de agua, permitiendo que cada gota llegue justo a la raíz de las plantas, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia. El sistema fue probado y validado, mostrando una mejora en la eficiencia hídrica en comparación con métodos tradicionales, con un impacto ambiental reducido y una expectativa de vida útil prolongada. Este enfoque promueve no solo la sostenibilidad económica y ambiental, sino también el uso de tecnologías de bajo costo, accesibles y beneficiosas para comunidades rurales.

Palabras Claves:

Agricultura, Sistema de riego, Válvula de Microgoteo, Cultivo de pimentones.



ABSTRACT

This project focuses on designing an efficient and sustainable irrigation system using recycled plastic polymers. The proposal addresses the challenges in modern agriculture, especially concerning water usage a vital resource under threat. Conventional irrigation systems face significant limitations, such as leaks and water loss due to evaporation, which impact sustainability in rural areas of Antioquia, Colombia.

Our initiative seeks to reduce environmental impact by transforming plastic waste into key components for the irrigation system, which not only repurposes discarded materials but also contributes to a more environmentally conscious approach to agriculture. Throughout the project's development, we evaluated current options and proposed improvements that optimize water consumption and reduce energy use, aiming to create an affordable, accessible irrigation system for small farmers.

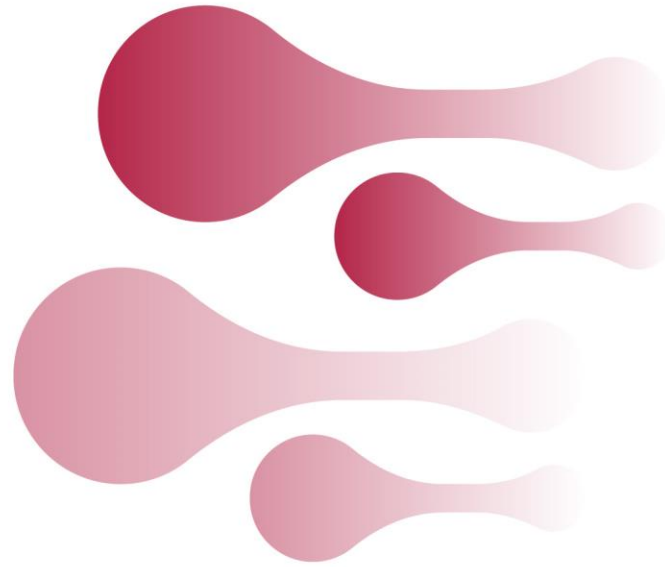
As a result, we designed a prototype using drip valves made from recycled polymers. These valves regulate water flow, ensuring that each drop reaches the plant roots, minimizing waste and maximizing efficiency. The system was tested and validated, showing improved water efficiency compared to traditional methods, with reduced environmental impact and a long expected lifespan. This approach promotes not only economic and environmental sustainability but also the use of low-cost, accessible technologies that benefit rural communities.

Keywords:

Agriculture, Irrigation System, Drip Valve, Bell Pepper Cultivation.



CONTENIDO



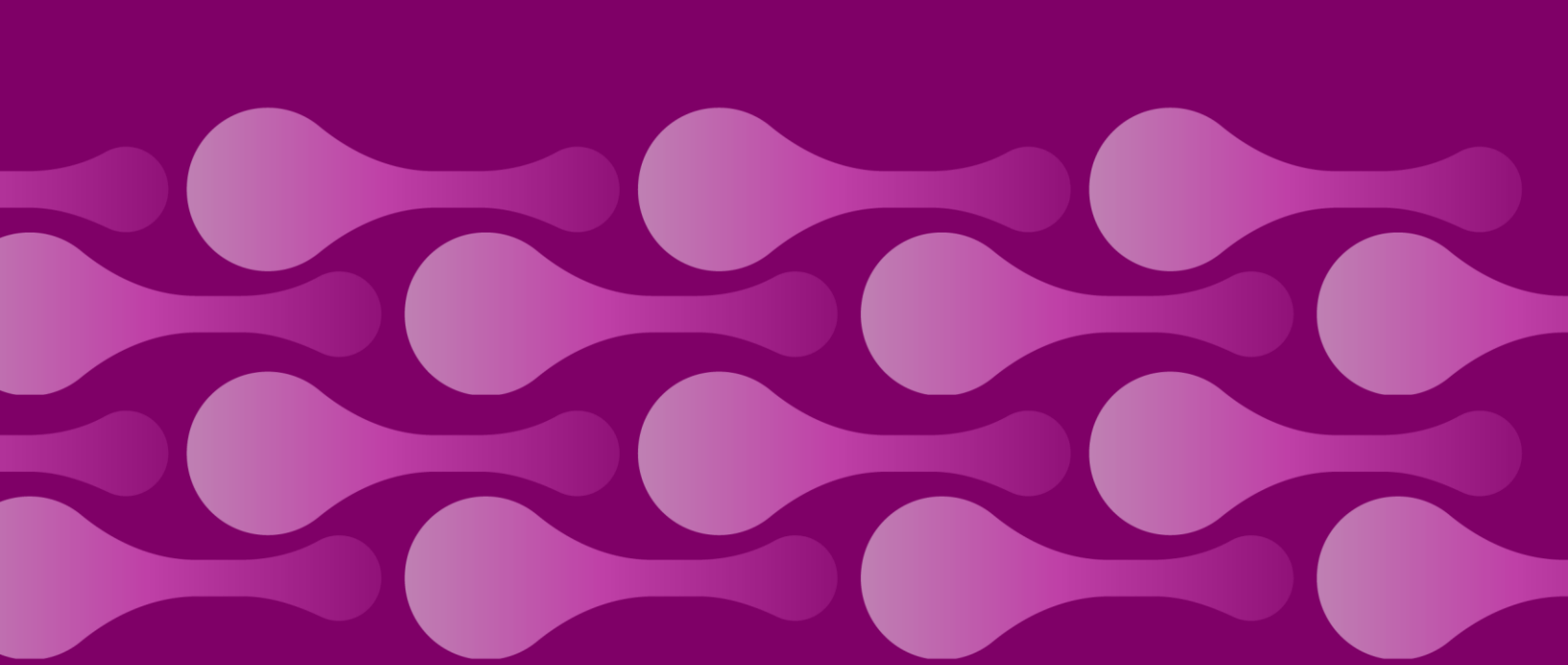
Capítulo 1. Fundamentación	
<u>Descripción de la situación problemática</u>	
<u>Objetivos</u>	
<u>Objetivo General</u>	
<u>Objetivos Específicos</u>	
<u>Justificación</u>	
<u>Conceptos clave</u>	
<u>Antecedentes</u>	
<u>Estado de la técnica</u>	
<u>Requerimientos para la propuesta de diseño</u>	
Capítulo 2. Ejecución	
<u>Ideación</u>	
<u>Propuestas de diseño</u>	
<u>Evaluación de las propuestas</u>	
<u>Diseño de Detalle</u>	
<u>Modelación 3D y/o Representación digital de la propuesta</u> ..	
<u>Planimetría</u>	
<u>Carta de procesos</u>	
<u>Prototipo</u>	
<u>Validación del prototipo</u>	
<u>Ficha técnica</u>	
<u>Presupuesto: Proyección de los costos del producto</u>	
<u>mínimo viable</u>	
Capítulo 3. Divulgación	
Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones	
Referencias	



Lista de Figuras y/o Tablas

Figura 1	24
Figura 2	27
Figura 3	28
Figura 4	29
Figura 5	35
Figura 6	36
Figura 7	37
Figura 8	39
Figura 9	40
Figura 10	43
Figura 11	44
Figura 12	44
Figura 13	45
Figura 14	49
Figura 15	50
Figura 16	51
Figura 17	52





FUNDAMENTACIÓN

01

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN


Descripción de la situación problemática

En el ámbito agrícola, el sistema de riego tradicional se encuentra ante diversos desafíos que afectan su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo. Entre estos desafíos destacan el alto consumo de agua y las pérdidas significativas ocasionadas por fugas en los empalmes, empates y líneas de unión. Además, factores como la evaporación debido a las elevadas temperaturas ambientales y la falta de disipación del calor en los sistemas hídricos contribuyen a agravar este problema. Estas preocupaciones son fundamentales para entender la urgencia de buscar soluciones innovadoras y más eficientes en el manejo del agua en la agricultura moderna.

El sistema de riego agrícola tradicional enfrenta diferentes desafíos como el alto consumo de agua, la constante pérdida de dicho recurso en los empalmes, empates y líneas de unión, son las principales causas de las fugas del líquido, por otra parte la evaporación por las altas temperaturas en el ambiente y sumado con la falta de disipación del calor en los sistemas hídricos, agudizan este problema (Tobón, 2024) sumado a esto, la grave situación que se presenta en la actualidad, como es el cambio climático y la escasez de agua que se presenta en las zonas rurales del departamento de Antioquia, hacen de esto un escenario muy poco apto con las condiciones actuales con los sistemas existentes, esto hace que se genere la necesidad de obtener una nueva solución que sera más eficiente y sostenible. El abandono estatal y la poca inversión en el campo colombiano agudizan el atraso y la falta de avances en el aprovechamiento de las riquezas naturales, el desconocimiento de las poblaciones de los nuevos avances tecnológicos en lo que al agro concierne, atrasa aún más el ya citado objetivo, el cual es la búsqueda de la eficiencia en los sistemas de producción, abordado en este ejercicio, desde los sistemas con los que se abastecen a los campos del preciado líquido.

La generación de residuos provenientes de los polímeros, tiende a deteriorar en un mediano y largo plazo el ambiente, ya que son desechos no biodegradables y con una prolongada permanencia en los ecosistemas, modificando o alterando su equilibrio.

En muchas ocasiones estos desechos llegan por fuentes hídricas inducidos por los habitantes de dichos lugares, quienes adquieren productos y/o empaques, derivados de los polímeros, y por desconocimiento en muchas ocasiones de que estos no son




biodegradables, no les generan un segundo uso, perdiendo así la posibilidad de ser más amigables con el medio ambiente, generando así un impacto negativo.

En la actualidad en la industria plástica, los desechos generados son en una gran medida reutilizados, pero una parte de estos son desechados debido a que sus propiedades son modificadas en cada calentamiento (inyección). Actualmente se estima que el 10% de los productos fabricados por inyección plástica son desperdicio, “El informe destaca que el plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos y advierte que, para 2040, los volúmenes de este material que fluirán hacia el mar casi se triplicarán, con una cantidad anual de entre 23 y 37 millones de toneladas” (Rukikaire, 2021), contribuyendo en gran medida con el impacto ambiental generado por las grandes industrias.

Realizar una búsqueda de soluciones sostenibles y económicas para la industria agrícola, es el punto crucial para garantizar el acceso de los cultivos antioqueños a los recursos hídricos, ofrecer una gran oportunidad para la transformación de estos residuos poliméricos en la aplicación de una solución viable y amigable para el riego; de esta manera podríamos reducir la pérdida de recursos contribuyendo también con el manejo la gestión de residuos sólidos de degradación lenta.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se plantea el desarrollo de un sistema de riego utilizando polímeros reciclados como el componente principal de este proyecto, realizando esto, pasaríamos a evaluar la eficiencia, viabilidad técnica y económica, al igual, se estaría evaluando el impacto ambiental del sistema de riego que se propondrá. Ejecutando esto, se realizaría una comparación de la propuesta con los métodos de riego convencionales que existen, de esta manera evaluaríamos las ventajas y desventajas que se obtendrían de dicho estudio.



Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de riego para cultivos de pimentón en el municipio de Marinilla, que disminuya el consumo energético, reduzca la pérdida de líquido en la industria agrícola y esté fabricado a partir de polímeros plásticos reciclados.


Objetivos Específicos

- Identificar sistemas de riego actuales con énfasis en sus características, condiciones de uso y costos.
- Proponer alternativas de diseño de un sistema de riego donde se utilice para su fabricación polímeros reciclados.
- Construir un prototipo a escala del sistema de riego seleccionado y realizar la validación de su funcionamiento y características que lo diferencian, de los sistemas existentes, que permita evaluar su eficiencia y rendimiento.
- Diseñar o crear, un manual de usuario para los agricultores que les permita tener la información de su ensamble, uso y mantenimiento adecuados.

Justificación

La presente investigación se enfocará en el estudio de comportamiento de los diferentes sistemas de riego que se usan en la actualidad en la industria agrícola colombiana, ya que debido a informes publicados recientemente estos presentan deficiencias significativas tanto a nivel energético como en el uso del agua. En una investigación realizada en la Universidad Autónoma de Querétaro donde se habla que cerca del 70% del agua disponible para el consumo humano, es utilizada para la agricultura y producción de alimentos; sin embargo, se desaprovecha cerca del 60%, debido a que la infraestructura de riego es obsoleta, esta desgastada y presenta fugas; además, presentan pérdidas por evaporación del agua presente en el suelo (Querétaro, 2022) Evidenciando el gran impacto que causa la pérdida de líquidos en dichos sistemas.

Por estas razones, decidimos enfocar nuestro proyecto en los cultivos de pimentones, teniendo en cuenta, como el enfoque principal de este proyecto se basó en un proceso de




análisis y accesibilidad en campo. Inicialmente, se identificaron diversos agricultores en la región con interés en mejorar sus sistemas de riego; sin embargo, muchas visitas planificadas no pudieron concretarse debido a limitaciones logísticas y disponibilidad de los agricultores. Por el contrario, el usuario seleccionado, quien trabaja con cultivos de pimentón, mostró disposición inmediata para participar activamente en el desarrollo del proyecto.

Además, el pimentón representa un cultivo estratégico por sus características agrícolas: requiere un riego preciso y constante para evitar problemas de encharcamiento o estrés hídrico, lo que se alinea perfectamente con la optimización que buscamos implementar en el diseño de nuestro sistema de riego. Su alta demanda en el mercado regional y su relevancia como fuente de ingresos para pequeños agricultores refuerzan la importancia de este cultivo en el contexto del proyecto.

La industria agrícola enfrenta desafíos significativos en cuanto a la eficiencia energética y la gestión sostenible del agua. En Antioquia, estas preocupaciones adquieren una gran relevancia, debido a la importancia que se adquiere tanto en la economía y en la parte ambiental de la agricultura en la región (Cornare, Desarrollo, Natura, & WWF, 2016). Por lo tanto, es importante abordar estas problemáticas mediante la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles.

El presente proyecto pretende, mediante el diseño de un sistema de riego, cumplir con un objetivo principal de mejorar la eficiencia energética y la pérdida de líquido (agua) en la industria agrícola de Antioquia. La iniciativa surge a partir de la necesidad de optimizar el uso de los recursos naturales y energéticos, así como la búsqueda de alternativas que fomenten la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola.

El enfoque del sistema de riego que se está proponiendo radica en la utilización de desechos reciclables (polímeros) generados por la industria del departamento de Antioquia, los cuales serán componentes clave. Este enfoque no solo colaborará a reducir la cantidad de desechos enviados a vertederos o fuentes hídricas, sino que también permitirá aprovechar recursos subutilizados para la mejora y la eficiencia del riego en la agricultura. Como plus, el uso de materiales reciclados genera una alineación con los principios de la



economía circular y realiza una gran contribución a la reducción de la huella ambiental de la industria.


La implementación de este sistema de riego, no solo les dará beneficio a los agricultores al mejorar la eficiencia de sus prácticas de riego y reducción de los costos de operación, sino que también generará un impacto de manera positiva en el medio ambiente al promover el uso más razonable y responsable de los recursos hídricos y energéticos de la región. Además, al promover la reutilización de desechos industriales (polímeros) locales, se abrirán nuevas oportunidades económicas y se fortalecerá la economía circular en la región Antioqueña.

El proyecto podría lograr un alcance nacional, ya que desde el ministerio de agricultura de Colombia se promueven y buscan nuevas alternativas aplicadas a la industria agrícola fomentando nuevas inversiones y el crecimiento favorable de las zonas rurales del país, todo esto contemplado en el plan nacional de sistemas de riego en el periodo 2020 – 2039 dónde se habla que de conformidad con el artículo número 4° del artículo número 3° del decreto 1985 del 2013 mencionando las funciones del estamento está el garantizar, formular, dirigir, coordinar y evaluar la política relacionada con el desarrollo rural, agropecuario, pesquero en los temas de su competencia.

Con lo anteriormente mencionado, se podría afirmar que este proyecto busca resolver una problemática existente en los sistemas de riego actuales, buscando solucionar problemas recurrentes presentes en dichos sistemas, adoptando como materia prima materiales de fácil acceso e impactando directamente el costo de producción, garantizado el acceso a este recurso, también se evidencia el interés estatal en apoyar este tipo de iniciativas facilitando recursos tecnológicos y económicos para el desarrollo de dichos proyectos, por ende, se evidencia la viabilidad para la aplicación de la investigación y posterior aplicación del producto resultante.

Conceptos clave

La agricultura rural, vital para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible, se enfrenta al desafío de maximizar la eficiencia en el uso de recursos limitados. En este contexto, la aplicación de polímeros reciclados emerge como una solución prometedora para el diseño de sistemas de riego. Este trabajo se centra en explorar cómo los polímeros pueden mejorar



la contención del agua en el suelo, reducir las pérdidas por evaporación y garantizar una distribución uniforme del agua, fusionando los principios de eficiencia y sostenibilidad para impulsar el desarrollo económico y medioambiental en las zonas rurales.

Agricultura:

Para este proyecto, utilizamos la definición de Morales (2021):


La agricultura comprende todas aquellas actividades económicas centradas en el cultivo de la tierra y el tratamiento del suelo. Esto, con el objetivo de extraer alimentos. Por tanto, desde la producción de todo tipo de frutas hasta los campos de arroz en Asia, son actividades que se integran dentro de la agricultura.

La persona que se dedica a la agricultura es el agricultor. Es decir, la persona que se encarga de labrar la tierra, echar los fertilizantes, así como de recoger la cosecha cuando está lista. No obstante, cabe destacar que, con el paso de los años y la industrialización de este sector, estos agricultores, en muchas ocasiones, cuentan con máquinas que hacen la labor que estos previamente desempeñaban. Asimismo, muchos agricultores trabajan para grandes empresas que se dedican a la producción masiva de cualquier tipo de cultivo.

Con relación a la definición que plantea el autor, se indica que la agricultura rural abarca todas las actividades económicas relacionadas con el cultivo de la tierra y el tratamiento del suelo con el fin de producir alimentos. Esto incluye desde la producción de frutas hasta los enormes campos de arroz en Asia. Se menciona al agricultor como la persona encargada de labrar la tierra, aplicar fertilizantes y cosechar cuando los cultivos están listos. Sin embargo, el autor también reconoce que, con la industrialización del sector, muchos agricultores ahora cuentan con maquinaria que facilita estas labores que antes realizaban manualmente. Además, se señala que, en la actualidad, numerosos agricultores trabajan para grandes empresas dedicadas a la producción masiva de diversos cultivos.

Polímeros:

Para comprender la definición de los polímeros, se utiliza la definición de (Zschimmer-schwarz, 2019) la cual lo manifiesta de esta forma: “Los polímeros son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (conocidas como monómeros) que se



repiten a lo largo de toda la cadena, por ejemplo, un collar de perlas: cada una de las perlas sería un monómero mientras que el collar entero es lo que se conoce como polímero.

Aunque no se visualiza a primera vista, los polímeros nos rodean en nuestro día a día. Por ejemplo, el poliuretano es uno de los polímeros más versátiles y se utiliza desde en material deportivo, zapatos o bañadores hasta para construir grandes estructuras de ingeniería. La ropa que llevas puesta seguramente incluye poliésteres y poliamidas; y en las latas de conserva son más que habituales los policarbonatos.

Tipos de polímeros


Los polímeros se desglosan en varios tipos, el más relevante para este proyecto son los sintéticos y reciclados, ya que pueden tener un gran potencial de segundo uso y serían vitales para la construcción del sistema a diseñar.

- ***Polímeros sintéticos***

Los polímeros sintéticos son fabricados a partir de combustibles fósiles y son usados de forma masiva en un gran número de aplicaciones. Su uso está tan extendido debido a su bajo coste de producción. Además, tienen unas propiedades y estructuras químicas idóneas, ya que han sido creados por el hombre para cumplir una función específica” (químico, 2019).

- ***Polímeros Reciclados***

Los plásticos son parte integrante de numerosos avances sociales significativos. Sin embargo, su contribución a la contaminación ambiental y a la crisis climática no puede ignorarse, ya que su impacto negativo en el medio ambiente aumenta con el incremento de la capacidad de producción y la demanda. Urge una acción mundial concertada para promover el reciclaje ecológico de los plásticos con el fin de evitar su acumulación en el medio ambiente y mitigar las emisiones de carbono. Esta revisión pretende revelar las vías de desarrollo ecológico de los plásticos, incorporando las tendencias de la revolución ecológica en los plásticos comerciales, los plásticos biodegradables de reciente aparición y los plásticos del futuro. Se ha llevado a cabo un debate crítico sobre las áreas de investigación actuales y potenciales desde múltiples perspectivas, incluidas las materias primas, los procesos y el reciclaje, para impulsarnos hacia un futuro marcado por la sostenibilidad. (zschimmer-schwarz, 2019)



Eficiencia en sistemas de riego

En este proyecto se requiere usar la definición de eficiencia de (Díaz & Ramírez, S/F) “Es la relación recursos/resultados bajo condiciones reales. La eficiencia supone conseguir un resultado concreto a partir de un mínimo de recursos o bien obtener el máximo beneficio de unos recursos limitados”.

Se plantea utilizar la definición de eficiencia propuesta por (Díaz & Ramírez, S/F) para este proyecto. Dicha definición establece que la eficiencia es la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos bajo condiciones reales. Esto implica lograr un resultado específico con un mínimo de recursos o bien maximizar los beneficios a partir de recursos limitados. En términos generales, se busca alcanzar la mayor productividad posible optimizando el uso de los recursos disponibles.

El propósito de que el sistema sea eficiente es mejorar tanto el consumo energético como hídrico para así colaborar con el medio ambiente en varios aspectos.

Sostenibilidad

Para este proyecto, se quiere tomar la definición de (RSyS, 2022) “la Sostenibilidad es asumir que la naturaleza y el medio ambiente no son una fuente inagotable de recursos, siendo necesario su protección y uso racional.”

Por tanto, el propósito de que sea **sostenible** es que este pueda cumplir con las métricas de compatibilidad con el medio ambiente, para evitar efecto de gases invernadero y reducir la huella de carbono para contribuir con la baja del calentamiento global.




Antecedentes

Para la definición de los antecedentes del proyecto se realiza una búsqueda en bases de datos, con el uso de algunas palabras claves contenidas (Agricultura, Polímeros reciclados, Eficiencia en sistemas de riego y Sostenibilidad), en el desarrollo de la investigación y que se entrelazan de diferentes formas, brindando la posibilidad de comprender mejor algunos aspectos en la creación de un sistema de riego que posibilite la mejora de algunos aspectos comunes presentes en dichos sistemas, por lo que se aborda de forma inicial con la definición general y de temas relevantes que contienen los sistemas que abastecen de agua los diferentes cultivos en este caso centrados geográficamente en el departamento de Antioquia .

Según el artículo de estudio para nuevas tecnologías “EMPRESA DE MANEJO DE RIEGO Y DRENAJE EN SISTEMAS PRODUCTIVOS EN EL ORIENTE DE ANTIOQUIA”, manifiesta que, la actividad agrícola del Oriente Antioqueño se encuentra atrasada en el tema de sistemas de riegos y drenajes, dejando al descubierto, que no es competitiva con otras regiones del país, es por esto que se planteó este proyecto. Con la formulación de esta propuesta se pretende la creación de una empresa de riego de drenaje en sistemas productivos en el Oriente de Antioquia, zona en la que se está presentando un auge en la agricultura, por lo que es el momento propicio para incentivar el uso de dichas técnicas de manejo optimizando los cultivos. En este trabajo se utilizó la metodología de determinación de la oferta y la demanda con relación al servicio que se quiere prestar, en aquella se desarrolla un análisis del comportamiento histórico de la demanda del servicio, desde la necesidad visible en el país de implementar este tipo de tecnificación (sistemas de riego y drenaje) y de ésta se desarrolla un proceso de rastreo documental en la web (OCAMPO, 2017), que tiene como propósito identificar los principales competidores y las principales empresas de suministro para nuestra iniciativa empresarial sobre construcción de sistemas de riego y drenaje agrícola en el oriente antioqueño.

Sobre esta base las empresas productoras y diseñadoras de estos sistemas han venido avanzando en el mejoramiento de la tecnología, cualquiera que será su tipo, para hacer más eficiente el consumo del agua, disminuir la cantidad de materiales utilizados y hacer más efectiva a menor costo la actividad agrícola. “La tendencia en los últimos años es utilizar menos materiales para que los equipos puedan ser más asequibles al público. Por ejemplo, antes valía el metro de línea de goteo (uno de los sistemas más utilizados) US\$25



centavos, ahora se puede conseguir en US\$8 centavos porque a través de nuevas tecnologías desarrolladas se ha disminuido el material usado” (OCAMPO, 2017).


Por otro lado, el proyecto “Crean sistema de riego que funciona con energía solar”, divulgado por Agencia UNAL, nos habla de cómo las energías renovables, comienzan ser una gran oportunidad en la implementación y la búsqueda de alternativas eficientes, por consiguiente más económica se ha transformado en uno de las metodologías de construcción para dichos sistemas, con la implementación de energías renovables en las diferentes etapas de producción han posibilitado que estos conceptos sean adaptados y aplicados de manera exitosa obteniendo resultados favorables un ejemplo muy claro es la aplicación de energía solar en sistemas de riego pívot como un sistema de riego autosustentable, diseñado por un grupo de estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia Sede de La Paz, requiere de poco mantenimiento para su funcionamiento, dado que produce su propia energía y se activa bajo ciertas condiciones sin necesidad de un operario. Surge como una alternativa más económica con respecto a los dispositivos que ya existen en el mercado. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023).

Según el texto “Crean sistema de riego que funciona con energía solar”, el estudiante Jhon Mario Galán, de séptimo semestre de Ingeniería Mecatrónica, explica que “por acción de una electroválvula, el sistema utiliza el agua de la Sede de La Paz, y la bombea hacia las zonas que necesitan riego, a través de mangueras y tuberías de PVC. Además, mediante sensores -por ejemplo, de humedad, permite ayuda a dosificar el preciado líquido”. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023).

Agrega que “para que el sistema permita el flujo de agua, el sensor debe detectar que el suelo está seco; asimismo, está programado para activarse horas determinadas”.

Por su parte, el estudiante Rudesindo Acuña, menciona que “el sistema se encuentra conectado a un panel solar, que transforma la luz del sol en energía eléctrica, y que le ofrece la autonomía suficiente, incluso para funcionar en horas de la noche, ya que esta se almacena en una batería”. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023).

El componente de energía solar está pensado para las áreas que no tienen acceso a energía eléctrica o a pozos de agua. Sus creadores anotan que se cuenta con un primer



prototipo de aplicación que permite visualizar en el teléfono los datos obtenidos por los sensores, modificar las horas de riego o parámetros utilizados por el sistema.

El desperdicio de agua para cultivos y demás procesos agrícolas, la carencia de energía eléctrica en el campo, las intensas jornadas laborales bajo el clima cálido propio de territorios como Cesar y las largas exposiciones al sol que pueden resultar perjudiciales para la salud, fueron las problemáticas identificadas en la zona rural de la UNAL Sede de La Paz. Estas sirvieron como materia prima para que los jóvenes investigadores se propusieran diseñar un sistema de riego autosustentable, idea que desarrollaron dentro del semillero de Sensores, Automatización, Control y Energía (SACE).


El profesor Leonardo Velasco, de la UNAL Sede de La Paz, indica que, además, de los sensores que detectan cuánta agua se necesita agregar, se está trabajando en otros que sirvan para monitorear el crecimiento de las plantas.

“Cuando se conoce el crecimiento de las plantas es posible monitorear el estado de los cultivos y dosificar la cantidad de agua que se necesita”. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023)

Para el académico, esta iniciativa es importante no solo para el Cesar, sino para el resto del país, dado que es necesario hacer buen uso del agua para mitigar los estragos del cambio climático. Además, fomenta el emprendimiento de los estudiantes de la Universidad para que generen empresas en un futuro para la región.

Cabe anotar que, según los expertos que participaron en el conversatorio “Energía fotovoltaica en una granja solar en El Paso, Cesar”, esta región tiene grandes ventajas que la hacen idónea para el desarrollo de proyectos en energías renovables, en especial, fotovoltaicas. Entre estas se cuentan: los altos niveles de radiación solar, la disponibilidad de terreno y una infraestructura confiable. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023)

Por esto la búsqueda de elementos los cuales hagan que los sistemas pierdan la menor cantidad de recuso en este caso el agua ligan de forma directa, el impacto de las altas temperaturas y de la olas de calor crean nuevos retos puesto que factores externos juegan un papel importante en el desarrollo en los campos, como lo menciona el artículo científico “Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos” la




temperatura actúa en el desarrollo de los cultivos y el incremento de la temperatura ambiental puede afectar su tasa de crecimiento, limitar su actividad fotosintética y aumentar su respiración (Ellis et al., 1990; Lawlor, 2005). El acortamiento del ciclo fenológico puede reducir el rendimiento potencial de los cultivos, al disminuir el periodo de intercepción de la radiación, que es uno de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento (J.L.Monteith, 1981)

Se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático (Rodríguez et al., 2007) sin considerar el efecto de la temperatura en la duración del ciclo fenológico. Alien et al. (1991) muestran que estos cambios en los requerimientos de riego se derivan del efecto de la disminución de la precipitación, del impacto del incremento de la temperatura en la evapotranspiración de referencia (ET_o) y del acortamiento del ciclo fenológico (Consejo Federal de Ciencias, S/F).


Debido al impacto del cambio climático la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, principalmente la evapotranspiración y la precipitación, tendrá un efecto radical en las demandas de riego y en la gestión de los sistemas de riego. Las proyecciones del cambio climático indican un incremento de la temperatura ambiental, con variabilidad en el espacio y en el tiempo. En este trabajo se analizó el impacto esperado del cambio climático en las demandas hídricas y en el desarrollo de los cultivos usando proyecciones de cambio climático para el escenario de emisiones medio moderado (A1B), para las condiciones del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, México. Se estimó que para finales de siglo el aumento anual de la evapotranspiración de referencia será 10 % respecto a los valores actuales. La demanda hídrica de los cultivos se reducirá 13 % para el ciclo otoño–invierno, 6 % para el ciclo primavera–verano e incrementará 7 % en el ciclo de perennes para fines de siglo. Lo anterior se atribuye a que a pesar de que la evapotranspiración de referencia se incrementará, el mayor impacto por incremento de la temperatura será en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales. Por tanto, es necesario implantar acciones de adaptación: en primer lugar, el uso de híbridos o variedades de ciclo más largo que las actuales, con resistencia al estrés térmico, y, en segundo lugar, la compactación del periodo de siembra hacia los meses más fríos.

Por otro lado la implementación de materiales de fácil acceso y que creen la posibilidad de aportar al mejoramiento del cambio climático y de los impactos ya mencionados en los



campos y diferentes zonas donde se aplican este tipo de tecnologías los polímeros reciclados son potencialmente la mejor opción en relación costo beneficio esto se ve reflejado en el documento (Barrios-Hernández, 2014), que en la búsqueda de nuevas opciones para el tratamiento de los plásticos posconsumo se da la posibilidad de reutilizar estos materiales y prolongar su vida útil, por medio de la generación de nuevas materias primas a partir de la producción de mezclas de polímeros. Esto permite producir beneficios económicos, ambientales y sociales e implementar un manejo más armonioso de los plásticos de gran consumo. Según el Programa Estado de la Nación 2011, se estima que en Costa Rica se producen unas 2700 toneladas diarias de basura proveniente de los hogares; de estas, los desechos plásticos representan el 9% del peso total de la basura doméstica. Entre los desechos plásticos más comunes que se pueden recolectar y reciclar están el polietilentereftalato, el polietileno de alta densidad (PEAD), el policloruro vinílico, el polietileno de baja densidad (PEBD), el polipropileno (PP) y el poliestireno, entre otros (Osswald, 2011). Un polímero viene a ser una molécula que consta de (poli-) muchas partes (- mer) unidos entre sí por enlaces químicos covalentes. Las partes individuales, o segmentos de monómero, de un polímero pueden ser todas del mismo elemento (Kulshreshtha y Vasile, 2002). El polietileno y el polipropileno, materiales que serán estudiados en esta investigación, son conocidos como los dos primeros miembros de la cadena de los polímeros y están basados en la estructura del etileno; según su clasificación química, pertenecen a la familia de las poliolefinas. Son semejantes en apariencia, sin embargo, las diferencias radican en las propiedades físicas y termoestables (Haper, 1975).

A continuación, y según el artículo científico "PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA: BENEFICIO Y COSTO AMBIENTAL: UNA REVISIÓN", se genera una concisa explicación a cerca de la implementación de diversos elementos plásticos, tales como bolsas, cintas, coberturas, mangueras, entre otras, en la agricultura y su deshecho inadecuado, se traduce en la contaminación ambiental y visual del agro colombiano. El actual manuscrito presenta un análisis de los principales usos de estos productos, de su vida útil, de su positiva o negativa biodegradabilidad y de su posible costo ambiental, basado en recomendaciones de su manejo, descrito en la literatura, observaciones de campo y sugerencias de posibles maneras de disponer de estas "basuras", una vez que los elementos cumplan su propósito. Igualmente, se hace un análisis de un factible remplazo del "plástico" por otros elementos, menos contaminantes, pero potencialmente utilizables, para los propósitos enunciados, en bien de la producción agrícola de frutas, de la protección del suelo, del manejo de malezas,




entre otras prácticas agronómicas. Se concluye que, a pesar de la amplia aceptación de la tecnología de la plasticultura, no se fundamenta en investigación autóctona que compruebe sus beneficios, sino en la adopción de conocimientos foráneos. Considerable actividad investigadora, se está realizando, sin embargo, en el país en la búsqueda de polímeros biodegradables que podrían reemplazar los sintéticos. (REVISIÓN, S/F).

Este amplio documento analiza detenidamente los retos y desafíos que enfrentan los sistemas de riego en diversas regiones de Colombia, con especial énfasis en el Oriente Antioqueño y el departamento del Cesar. Se pone de manifiesto la necesidad apremiante de adoptar tecnologías más eficientes, sostenibles e innovadoras que permitan optimizar el uso del agua y reducir el impacto ambiental asociado a estas prácticas agrícolas. Se presentan soluciones vanguardistas como los sistemas de riego autosustentables impulsados por energía solar, desarrollados por estudiantes de ingeniería, los cuales no solo promueven el ahorro de agua sino también la disminución de la huella de carbono. Asimismo, se explora el uso de materiales reciclados como los polímeros, aprovechando los desechos plásticos para crear nuevas materias primas, generando beneficios económicos, ambientales y sociales. Esta iniciativa contribuye a un manejo más armonioso de los residuos y a prolongar la vida útil de estos materiales.

Además, se aborda el impacto del cambio climático en la actividad agrícola, analizando cómo el aumento de temperatura y la variabilidad en las precipitaciones afectan los requerimientos hídricos de los cultivos y sus ciclos fenológicos. Ante este panorama, se enfatiza la urgencia de implementar acciones de adaptación, como el uso de variedades de cultivos más resistentes al estrés térmico, de ciclos más largos, así como la optimización de los periodos de siembra hacia épocas más frescas.

El propósito de que el sistema de riego sea eficiente es mejorar tanto el consumo energético como hídrico, lo que resulta esencial para la sostenibilidad ambiental. Al optimizar el uso de agua, se garantiza que este recurso vital se utilice de manera responsable, reduciendo el desperdicio y asegurando que las plantas reciban la cantidad exacta que necesitan para su crecimiento. Además, un sistema de riego eficiente disminuye el consumo de energía al requerir menos recursos para bombear y distribuir el agua, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de energía. Esta eficiencia no solo contribuye a la conservación del agua y la energía, sino que también



promueve prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, protegiendo los ecosistemas locales y mejorando la calidad del suelo a largo plazo. En resumen, la implementación de un sistema de riego eficiente es una medida integral que apoya la salud ambiental y fomenta un uso más racional y sostenible de los recursos naturales.

Estado de la técnica

En relación con los sistemas de riego existentes en el mercado, se han identificado sistemas eficientes y aquellos que son fabricados a base de polímeros reciclados o con desperdicios que genera la industria. A continuación, se exponen algunos de los sistemas de riego que son más eficientes a nivel de gastos de recursos hídricos y energéticos para la industria.

Concretamente, uno de los sistemas de riego eficientes con respecto a la pérdida de líquido que existen actualmente dentro del mercado es el sistema de riego por goteo, ya que como se menciona en el artículo: Tres poderosas razones para apostar por un riego más eficiente, el autor plantea que “el sistema de riego por goteo logra una eficiencia de 90 a 95% en el empleo del agua y los fertilizantes, mientras que con un sistema por gravedad esta es de entre 55 y 60%.” (Divulgación CIMMYT, 2019).

Adicional a esta información general, indican que este sistema tiene unas ventajas tales como: “automatización del sistema, instalación en diversas condiciones topográficas y alta eficiencia, pero se debe tener en cuenta que hay aspectos negativos los cuales manifiestan que no es posible instalarse en cultivos muy densos, la inversión inicial es muy elevada y se debe tener un mantenimiento constante de este” (Divulgación CIMMYT, 2019).

Los materiales utilizados en este sistema son: Filtros de riego, filtro de malla, filtro de arena, fertilización y abonado, abonadora, inyector Venturi y dosificadora.

Este sistema es bueno tenerlo como referente genérico, ya que es uno de los más comercializados actualmente, aunque como se menciona, cuenta con varias deficiencias a mejorar más que todo, por el momento de pérdida de agua, este es uno de los ítems en donde se busca reducir la pérdida de líquido, ya que es importante tenerlo en cuenta para un proyecto de una invención de un nuevo sistema de riego.




Figura 1



Esquema de componentes del sistema de riego

Nota: Tomado de: <https://prakor.com/componentes-de-un-sistema-de-riego-localizado/>

Continuando con la búsqueda, aparece el sistema de riego por aspersión, el cual según el artículo agropecuario: SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN: TODO LO QUE DEBE SABER, es el segundo con mayor eficiencia en cuanto a desperdicio de agua, ya que menciona que:

El sistema de riego por aspersión es uno de los múltiples métodos de riego de cultivos que existen en la actualidad. Consiste en aplicar el agua imitando la lluvia, es decir, mediante un chorro de agua pulverizada en gotas. El mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para dispararla. El riego como tal es potenciado a través de un sistema de bombeo. Con este mecanismo es posible alcanzar eficiencias de aplicación entre 80 y 85 %, donde lo ideal es realizar una óptima inversión para

lograr los objetivos propuestos y así los cultivos comiencen a crecer. (Agropinos, 2022)

El autor de dicho artículo menciona las ventajas y desventajas del sistema, algunas de estas son: imitación de la entrega del agua, que es similar a la lluvia, bajo presupuesto para su mantenimiento, adaptación al terreno y control en la dosificación del agua.

Adicionalmente, las desventajas que tiene dicho sistema es una cantidad considerable de pérdida de líquido cuando se inicia el proceso de aspersión, esta propenso a generar malas hierbas en los cultivos y también se mide la eficiencia con su fuerza de trabajo (Agropinos, 2022), algo que es contradictorio con lo que se indica, ya que se supone es el más eficiente ya que sus métricas así lo indican.


En cuanto a los insumos a utilizar para la instalación de dicho sistema, se debe de contar con:

- Bomba de presión, tubería, aspersores, depósito de agua para conectar la red de tuberías, tablero de control y puntos para regulación del agua.

Esta solución es válida como referente de diseño ya que cuenta con los principios de verificación en primera instancia como un sistema de riego eficiente teóricamente, ya que como se menciona dentro del texto, esta cuenta con varias deficiencias a mejorar dentro del funcionamiento de este, por ende, es un buen modelo para tener a la vista para tomarlo como una mejora o generar un rediseño de manera general de este.


Por último, en esta categoría aparece el sistema de riego subterráneo, el cual se explica en el siguiente artículo científico: “Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en suelo desnudo comparado con dos métodos convencionales”. Este es una solución viable más que todo para mitigar la evaporación del líquido (agua) al momento de realizar la función de riego, en este breve resumen se explica el objetivo dicho proceso:

El sistema de riego subterráneo es una alternativa para incrementar la productividad del agua en la agricultura, en virtud de que minimiza la evaporación superficial e incrementa la eficiencia de aportación hídrica en zona de raíz. El objetivo de este estudio fue evaluar la cantidad de agua perdida por evaporación en tres sistemas de riego, dos de ellos mediante aporte superficial y un sistema de riego subterráneo. Tres sistemas de riego se evaluaron en septiembre de 2015 y enero de 2016,



mediante riego localizado en zanjas (RZ), riego subterráneo por difusores (RSD) y riego por goteo con cinta (RGC). El sistema RZ fue 1 m de zanja con 15 cm de profundidad. El RSD fue un tubo de PVC sanitario de 5.08 cm de diámetro interior y 1 m de longitud con ranuras laterales cada 8.2 cm, colocado horizontalmente a 20 cm de profundidad, el cual se expone a la superficie del suelo mediante un codo y segmento de tubo de 30 cm de longitud del mismo diámetro. El difusor se rellena con gravilla de 3 a 7 mm para evitar el ingreso de partículas finas. El RGC fue 1 m de cinta de riego con goteros de 1.1 L h⁻¹ cada 20 cm. Para medir la humedad y evaporación se aplicaron 10 L a cada sistema de riego. Las muestras de 150 g de suelo se tomaron a profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm; la humedad se determinó con el método gravimétrico, el primer muestreo se realizó 15 min después del riego y los siguientes a 24, 72 y 120 h. El sistema RSD mostró la menor evaporación; la diferencia entre RSD y RZ fue 30 % en 2015 y 41 % en 2016; la diferencia entre RSD y RGC fue 44 %, similar en ambas fechas.” (Gregorio Lucero-Vega, 2016).

De igual manera, identifican y exponen mediante métricas y tiempos estipulados el funcionamiento de dicho sistema y las ventajas que este trae al momento de implementarlo en la industria agropecuaria. “Los sistemas de riego subterráneos se originaron como una alternativa para mitigar los problemas de drenaje y pérdidas por altas tasas de evaporación del agua de riego, cuya investigación formal inició en California, EUA, hace más de 30 años” (Ayars et al., 2015). Ahora hay varios tipos de riego subterráneo, tecnología desarrollada para disminuir la evaporación directa del suelo y lograr el máximo control sobre el contenido de humedad en la zona más activa de la raíz. De esta forma se obtiene un ahorro considerable del agua para riego, aspecto importante porque la mayor limitante para la producción agrícola en zonas áridas es la disponibilidad de agua (Montemayor et al., 2012). En el mundo, 72 % del agua disponible se destina a la agricultura mediante diversos sistemas de riego (FAO, 2007), y el riego por goteo subterráneo (RGS) enfrenta varios problemas técnicos, entre los que destacan la obstrucción o taponamiento por partículas finas o materia orgánica y el daño por roedores (Payero et al., 2005) (Gregorio Lucero-Vega, 2016).



Dentro de esta categoría, existen varios sistemas de riego subterráneos, para ser más exactos existen 3, a continuación, se dará una descripción de cada uno y los materiales utilizados para su fabricación.

“Riego localizado en zanjas (RZ)”

El primer sistema de riego es de 1 mt de zanja o surco con pendiente de 0.5 %; el interior de la zanja se trazó en forma de triángulo con taludes de 19.6 cm, tirante de 5.0 cm y 38 cm en la parte superior, que es la base del triángulo. El agua se aplicó en la parte más alta de la zanja mediante un microtubo de PVC negro de 3 mm de diámetro interior y 5 mm de diámetro exterior, el cual aportó un caudal de 12 L h⁻¹.

Figura 2



Riego localizado en zanjas

Nota: Tomado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000500487

El sistema RZ simula el riego por goteo convencional realizado con goteros tipo botón (goteros independientes), en el cual los agricultores usan una manguera lisa de 16 a 20 mm de diámetro interior donde colocan goteros con separaciones que ellos deciden, por lo común con 3 a 4 emisores por árbol (Figura 2A).

Riego subterráneo por difusores (RSD)

Para el sistema de riego RSD se instaló un tubo de PVC sanitario de 5.08 cm de diámetro interior y 1 m de longitud, colocado horizontalmente a 20 cm de profundidad. En uno de los

extremos del tubo se coloca un tapón con una ranura vertical de 4 cm y en el otro extremo se acopla un codo sanitario de 90° del mismo diámetro para conectar la sección subterránea del difusor horizontal con la superficie del suelo y la atmósfera mediante un segmento de tubo de 30 cm de longitud del mismo tipo y diámetro. A través del segmento del difusor expuesto se aporta agua mediante un microtubo de 3 mm de diámetro interior (Figura 2B). El segmento horizontal del difusor mide 1 m de longitud y tiene ranuras de 4 cm cada 8.2 cm en ambos lados, de manera que al colocarlo en el suelo las ranuras se exponen de forma vertical; desde el punto de vista hidráulico, la parte inferior del tubo funciona en forma de canal. Para su operación, el interior del tubo se llena con gravilla de 3 a 7 mm de diámetro para favorecer el flujo de agua e impedir el ingreso de partículas de suelo finas al difusor. El sistema RSD se compara con sistemas de riego convencionales para mostrar sus ventajas al minimizar la evaporación directa del suelo.

Figura 3



Riego localizado en zanjas

Nota: Tomado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000500487

Riego por goteo con cinta (RGC)

El tercer sistema de riego (RGC) fue un segmento de 1 m de cinta de riego marca Netafim® modelo Streamline 16060 con goteros cada 20 cm fabricados para un flujo máximo de 1.1 L h⁻¹. El caudal por gotero se calibró en 0.40 L h⁻¹, menor al caudal nominal debido a que la presión proporcionada a la cinta de riego fue de 1 m de columna de agua (MCA)

equivalente a 0.1 kg cm^{-2} (1.42 PSI), la cual es menor a la presión nominal, indicada en 10 MCA. Este método simula el sistema de riego por goteo con cinta, que es el sistema más usado por los agricultores que tienen riego presurizado y utilizan cintas o manguera con goteros instalados equidistantemente (Figura 2C).

Figura 4



Riego localizado en zanjas

Nota: Tomado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000500487

Para relacionar la evaporación de agua directa del suelo con los elementos del clima, en ambos períodos del experimento se tomaron datos de temperatura ambiental, del suelo y la evaporación potencial (E_o) con evaporímetro tipo "A". Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática marca Davis® modelo Vantage Pro2 (EUA), instalada en el Campo Agrícola Experimental del CIBNOR. La temperatura de suelo se tomó con un termómetro digital portátil marca Yokogawa® modelo 2455 (Japón), el cual tiene un dispositivo electrónico que interpreta la señal que emite un sensor tipo termopar soportado por una varilla de acero inoxidable de 4.8 mm de diámetro." (Gregorio Lucero-Vega, 2016) Con esta variante de sistemas de riego subterráneos, se busca obtener información del comportamiento de las tuberías bajo tierra y como se puede mitigar en la mayoría de lo posible la evaporación del líquido, este se convierte en punto de referencia y partida, ya que realizando el análisis de las métricas obtenidas en el estudio de este, se puede realizar

la investigación como mejora de materiales o procesos para generar la invención de un sistema que pueda mitigar mejor la pérdida por evaporación.

Reciclado de los plásticos con aplicaciones en la agricultura.3

Conociendo las posibles aplicaciones de los polímeros se podría visualizar soluciones antes no contempladas creando un abanico de nuevas oportunidades con expectativas de crecimiento.

El reciclado de plásticos agrícolas se presenta como una técnica de bajo impacto ambiental ya que no produce sustancia tóxicas que se pueden generar durante otros métodos de disposición como la incineración, además de presentar ventajas desde el punto de vista técnico y económico.

En el reciclado, la calidad de los plásticos recuperados es determinada principalmente por la cantidad de contaminantes presentes, como tierra, grasa, vegetación, humedad y otros tipos de plásticos que puede llegar hasta un 40% en peso, así para los plásticos agrícolas la contaminación es uno de los problemas más importantes y frecuentemente encontrados que puede reducir la aceptación y condicionar el reprocesamiento de estos materiales.

Los dos tipos de contaminantes críticos en plásticos agrícolas son:

- La presencia de agroquímicos residuales, tanto en películas como envases, que implica una etapa de prelavado y lavado intensivo para eliminar o minimizar el contenido de estos, condicionando también su aplicación final.
- La degradación por la luz ultravioleta. Las películas de invernadero son sometidas a un proceso de degradación en dos etapas diferentes de su ciclo de vida.

La primera etapa es durante su aplicación en campo (en la etapa de desarrollo del cultivo), donde recibe el efecto combinado tanto de la temperatura, el oxígeno y la radiación solar, se ve afectado por un daño considerable en la estructura química y por consecuencia en las propiedades óptica y mecánicas de la película plástica.

La segunda etapa es durante el reprocesamiento en fundido del material previamente limpio, para la obtención de material paletizado, que al igual que durante su aplicación combina los efectos degradantes de la temperatura y los esfuerzos mecánicos generados durante la extrusión. Por lo que el valor técnico y económico del producto terminado (pellet,



película o tubería) disminuirá ya que tendrá pérdida en sus propiedades ópticas y mecánicas. (mendez, 2017).

Científicos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí desarrollaron un sistema con polímeros biodegradables para combatir la sequía que afecta a la agricultura. El sistema funciona como acondicionador del suelo y busca aprovechar mejor el agua de riego, los nutrientes y fertilizantes.

Los polímeros tienen la propiedad de que, al aplicarse al cultivo en el suelo, proporcionan nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo, crecimiento y producción. De acuerdo con información del proyecto, la fórmula de los polímeros actúa como reservorio de agua, por lo que la planta absorbe una mayor cantidad de líquido y la hace disponible a las raíces de las plantas (López, 2018)



Requerimientos para la propuesta de diseño

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO DEPARTAMENTO DE DISEÑO	Código
	Versión
	Fecha

Proyecto					
Nro.	Aspecto	Requerimiento	Métrica	Valor - Rango	Importancia
1	Material	Uso de polímeros reciclados.	Mezcla homogénea de polímeros originales 1kg de original por 2kg de material reciclado.	Por una parte, de material original dos partes de material reciclado	5
2	Durabilidad	Vida útil mínima de 5 años	Pruebas de resistencia a UV, humedad, y temperatura.	Igual o mayor a 10 años de vida útil	5
3	Ambiente-entorno	Resistencia a diferentes condiciones climáticas	La tasa de desgaste, K, se evaluó utilizando la fórmula $K=VI$ (Fxs), donde V es el volumen desgastado, F es la carga normal y s es la distancia de deslizamiento.	Se mide mediante la operación $K=VI$ (Fxs)	5
4	Partes estándar	Tubería, codos, empalmes, orings, empaques, bomba de agua. Qué porcentaje de las piezas del producto serán manufacturadas frente a las piezas estándar	Número de piezas totales * 50%/100%	50%	3
5	Compatibilidad	Compatibilidad con diferentes tipos de cultivos y terrenos	Evaluación de uso en diferentes tipos de cultivos.	Compatible con al menos 5 tipos de cultivos	4
6	Eficiencia	Mitigar la pérdida de líquido (agua).	Evaluando el caudal, pérdida de carga y velocidad del agua.	Caudal: mt^3*seg Carga: $l*min$ Velocidad del agua: mt^3	4
7	Costo	Bajo costo de fabricación y mantenimiento	Análisis de costos de producción y mantenimiento	20% más barato que sistemas convencionales	4
8	Sostenibilidad	Reducción de la huella de carbono	Análisis del ciclo de vida	30% reducción de huella de carbono	5
9	Facilidad de instalar	Sistema fácil de instalar y manejar	Pruebas de campo y retroalimentación de usuarios	Instalación menor a 2 horas por hectárea	4

10	Mantenimiento	Facilidad de mantenimiento	Evaluación de procedimientos de mantenimiento	Requiere mantenimiento menor a 2 veces al año	4
11	Seguridad	Seguridad para el medio ambiente y los cultivos	Pruebas de toxicidad y estudios ambientales	% de materiales tóxicos presentes en el ambiente.	5
12	Adaptabilidad	Capacidad de adaptación a diferentes topografías	Evaluación de instalación en terrenos planos y accidentados	Adaptable a terrenos con inclinación menor al 30%	4
13	Resistencia	Resistencia a la corrosión y desgaste por elementos naturales	Pruebas de corrosión y desgaste	Sin corrosión significativa en menos de 5 años	5

EJECUCIÓN

02

CAPÍTULO 2. EJECUCIÓN

Inmersión en el contexto

El agricultor describe su terreno como mayormente llano, lo que facilita las labores de cultivo, aunque cuenta con una pequeña área inclinada. El clima es templado, con lluvias regulares que favorecen los cultivos, pero en ocasiones el exceso de agua dificulta la cosecha. Su principal cultivo es el pimentón, aunque rota con otros como maíz, frijol y habichuela, adaptando las necesidades de riego a cada tipo de planta. El pimentón requiere riegos frecuentes sin encharcar el suelo, mientras que el maíz demanda menos agua, y el frijol y la habichuela necesitan un riego controlado para evitar enfermedades y pudrición de raíces.

El agua para el riego proviene de la llave del acueducto de la vereda, conectada a mangueras para distribuirla en los cultivos. Entre los principales problemas, menciona que las mangueras tienden a enredarse y la cantidad de agua no siempre es suficiente. Además, cuando el acueducto suspende el servicio, el riego se interrumpe. También ha experimentado pérdidas de agua debido a fallas o daños en las conexiones, lo que genera goteos y desperdicios.

Figura 5



En los cultivos protegidos de pimiento

El aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo, considerando el estado fenológico de la planta y las condiciones ambientales existentes (sustrato o tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc.).

El pimiento es sensible a la salinidad del agua de riego prefiriendo aguas que no rebasen 1dS/m de CE. Con aguas de mayor conductividad eléctrica son indispensables los riegos diarios, aumentando el volumen de agua para el lavado de sales según los niveles de salinidad.

Figura 6

Producción de pimiento morrón en invernadero



En cultivo en suelo

El momento y volumen de riego vendrá dado básicamente por los siguientes parámetros:

Tensión de humedad del suelo (potencial mátrico), que se determina instalando una batería de tensiómetros a distintas profundidades. Alrededor del 75% del sistema radicular del pimiento se encuentra en los primeros 30 – 40 cm del suelo. Por ello, es conveniente colocar un primer tensiómetro a una profundidad de 15 – 20 cm, y mantener lecturas entre 11 y 14 centibars. Un segundo tensiómetro a 30 – 50 cm, que permita controlar el movimiento del agua entorno del sistema radicular y un tercer tensiómetro ligeramente más profundo para



obtener información sobre las pérdidas de agua por drenaje. Valores inferiores a 15 – 20 centibars en este último tensiómetro, indicarán importantes pérdidas de agua por lixiviación.

Figura 7

Uso de medidores para el monitoreo de humedad



El cultivo de pimiento relativamente es muy celoso de la nutrición y del manejo del agua, por ello se aconseja llevar un monitoreo juicioso de ambos factores. Cualquier desbalance de los mismos se refleja rápidamente en el rendimiento o en presencia de enfermedades fungosas tanto radicales como aéreas.

Para un cultivo de pimiento de primavera (diciembre – julio), las necesidades hídricas se estiman en $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Tras el asentamiento de la planta resulta conveniente recortar riegos, con el fin de potenciar el crecimiento del sistema radicular. Durante la primera floración, un exceso de humedad puede provocar la caída de las flores.

En cultivo hidropónico

Tabla 1 Porcentaje de agua fácilmente disponible en los sustratos de estudio, Adad et al. (1997), Valdivia (1989).



Sustrato	Volumen de sustrato (L/planta)	Agua fácilmente disponible, AFD (%)
	(1)	(2)
Fibra de coco	5	23
Perlita B-12	5	24
Tezontle	5	14
Tezontle	15	14

El riego está automatizado. Existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo. El más extendido en cultivos hidropónicos es el empleo de las bandejas de riego a la demanda. El tiempo y el volumen de riego dependen de las características físicas del sustrato. Este método permite regar cuando la planta ha consumido una dosis de agua prefijada, con lo que se previene un estrés hídrico o despilfarro de agua y abonos.

Calendario de riegos

Antes de la plantación se dará un riego abundante, 200 – 300 m³/ha, y tras la plantación se dará otro riego para el arraigo de las plantas con un volumen de 0.5 – 1 l/planta. Posteriormente, procurar no regar hasta no estar formada la primera cruz o hayan cuajado los primeros frutos, aproximadamente a los 15 – 20 días de la planta. Hay que recordar que el sistema radicular del pimiento se encuentra en su mayoría en los primeros 40 cm.

En la producción de pimiento en invernadero la frecuencia de los riegos oscila de 1 -2 días hasta el cuaje de los primeros frutos, a riegos diarios a partir del inicio de recolección. En el ejemplo que se expone se riega cada 2 días.

Aporte total de agua..... 3000 m³ – 4000 m³

Época	Litros por m ²	Litros hectárea	No. De riegos	m ³ /ha
Antes de la plantación	-		1	250,00
Tras la plantación	-		1	75,00
Septiembre-octubre-noviembre	1 – 2	15,000	35	525,00
Diciembre-enero-febrero	2 – 2.5	22,500	45	1,012,50
Marzo-abril y mayo	2 – 5.3	27,500	45	1,237,50

Total	-	-	127	3,100,00
-------	---	---	-----	----------

El calendario de riegos es el siguiente:

La escasez de agua producirá un crecimiento reducido en general, y una absorción escasa de calcio en particular, conduciendo al desequilibrio por deficiencia de calcio, mostrado en la fruta como Blossom end rot (BER, necrosis apical). La floración es afectada negativamente y se podrían aparecer abscisión de flores (caída de flores). La densidad de raíz se reduce un 20 % bajo condiciones de estrés de escasez de agua, comparada con plantas suficientemente regadas.

Figura 8

Blossom End Rot en pimiento



Por otro lado, el exceso de agua causará muerte de raíz debido a la condición anaeróbica que presentará el suelo, también habrá retraso de la floración y desórdenes en la fructificación (por ejemplo, partidura del fruto). La escasez de agua producirá un crecimiento reducido en general, y una absorción escasa de calcio en particular, conduciendo al desequilibrio por deficiencia de calcio, mostrado en la fruta como Blossom end rot (BER, necrosis apical). La floración es afectada negativamente y se podrían aparecer abscisión de flores (caída de flores). La densidad de raíz se reduce un 20 % bajo condiciones de estrés de escasez de agua, comparada con plantas suficientemente regadas.

Figura 9
Partidura del fruto, causado por exceso de humedad



El agua de riego con un pH elevado generalmente contiene altos niveles de bicarbonatos y carbonatos tanto de calcio como de magnesio. Se recomienda la acidificación del agua para reducir el pH a 5-6 antes que ésta llegue a la planta. Esto mejorará la disponibilidad de ciertos nutrientes, tales como P, Fe, Zn, Cu, Mn y B.

Ideación

1. Sistema de riego subterráneo.

- Tendrá 80 metros de tubería de 1 pulgada alrededor y centro del sistema de sistema de riego.
- Contará con 20 uniones en todo el sistema para mejorar la efectividad y tener menos perdida de agua.
- El sistema estará abastecido por la Bomba periférica Pearl PEP 07F16S 0.7HP 110/220V para ser usadas moviendo agua limpia u otros líquidos similares al agua en propiedades físicas y químicas sin partículas abrasivas. Recomendadas para suministro de agua a pequeñas unidades residenciales, pequeños sistemas de riego, sistemas de aire acondicionado y pequeños sistemas hidroneumáticos.
- Se contará con programación del sistema para que, en determinada cantidad de tiempo, proceda a abrirse y abastecer la tubería para generar el riego en su totalidad.
- La tubería tendrá orificios de 5mm aproximadamente, para poder garantizar un buen riego y que el suelo se mantenga húmedo para que los pimentones puedan estar en su punto.

- La tubería será generada a partir de polímeros reciclados y las uniones serán estándar, de esta manera se podrán conseguir en el mercado.

2. Sistema de riego hidropónico.

- Tendrá 50 metros de tubería de 1 y media pulgada, no tendrá uniones ya que la tubería formará un arco completo y no será necesario cortarla.

- El sistema será abastecido por la Bomba Centrífuga Pearl CEP 07F16S 0.7HP 110/220V para ser usadas moviendo agua limpia u otros líquidos similares al agua en propiedades físicas y químicas sin partículas abrasivas. Recomendadas para suministro de agua a pequeñas unidades residenciales, pequeños sistemas de riego, sistemas de aire acondicionado y pequeños sistemas hidroneumáticos.

- Se contará con programación del sistema para que, en determinada cantidad de tiempo, proceda a abrirse y abastecer la tubería para generar el riego en su totalidad.

- EL sistema tendrá un funcionamiento similar al rocío, así podrá tener un riego constante y no se generará perdidas de fluido de manera significativa.

- La tubería será generada a partir de polímeros reciclados.

3. Mejora sistema de micro goteo

- Mejora autonomía del riego por medio de la fabricación de un cono de polipropileno (P.P) por medio de inyección plástica


- Resistencia a una presión igual a la presión nominal, es decir, 0,7 bar.

- Autoperforante, lo que significa que el emisor puede instalarse directamente en la tubería sin tener que taladrar un agujero previamente.

- Es un emisor auto compensante, lo que significa que es capaz de mantener un caudal constante. Esta característica hace que el emisor sea muy adecuado para aplicaciones en s escarpados, a diferencia de los emisores clásicos que prefieren los campos planos. También se pueden identificar por su color, que difiere en función del caudal que deben suministrar.

4. Sistema de micro goteo inteligente

- En el interior del gotero tiene una pastilla, en la que hay unas cavidades para el paso del agua.




- La base está fabricada en polipropileno resistente a los rayos UV, lo que le permite soportar tanto la agresión de los agentes atmosféricos como la posible corrosión típica de la fertiirrigación.
- Se puede utilizar con agua no especialmente filtrada y con terrenos llanos en los que no sea imprescindible el uso de goteros auto compensantes.
- Sistema que mide la humedad por medio de sensor informando necesidad de abastecerse

Propuestas de diseño

En nuestro compromiso por ayudar a que la agricultura sea más amigable con el medio ambiente, hemos creado un sistema de riego especial usando plástico reciclado. Nos centramos en crear una pequeña válvula que permite que el agua salga gota a gota. No elegimos este diseño por casualidad; estas válvulas son el principal atributo de nuestro sistema, pues hace que cada gota de agua llegue justo donde la planta la necesita, evitando que se desperdicie como suele pasar con los sistemas de riego tradicionales donde el agua se evapora o se escurre por el suelo. Con este método de riego por goteo, no solo ahorramos agua, que es tan valiosa para todos, sino que también estamos dando una nueva vida a materiales plásticos que normalmente acabarían contaminando nuestro entorno.

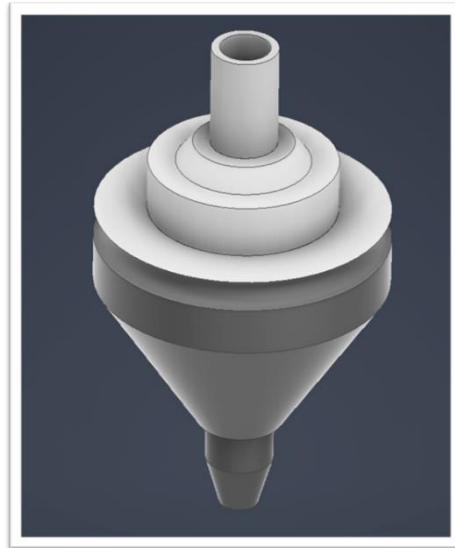
Propuesta 1

Esta válvula es diseñada para un sistema de riego de precisión. Se conecta a una tubería elevada y está compuesto por un cuerpo principal en forma cónica, con una entrada de agua en la parte superior y una salida más estrecha en la base para permitir el goteo. El diseño es adecuado para mantener una presión controlada que garantice una salida constante de gotas. Cuenta con una boquilla de acople rápido adaptable, permitiendo ajustar el tamaño de la gota según las necesidades.



Este dispositivo puede ser controlado mediante microcontroladores, lo que permite regular el flujo de agua automáticamente, proporcionando riego eficiente y preciso según las necesidades de las plantas.

Figura 10



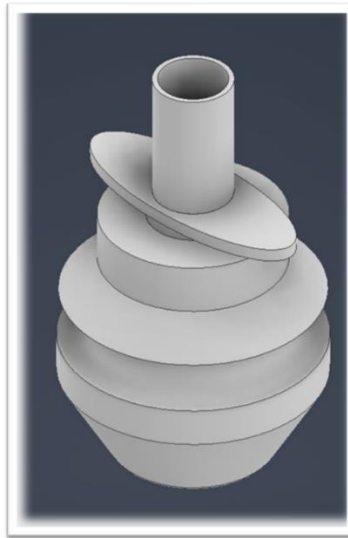
Propuesta 2

Esta válvula es ideal para sistemas de riego de alta precisión, conectado a una tubería elevada. Su estructura tiene un cuerpo cónico, con una entrada superior para el agua y una salida inferior estrecha que permite el goteo controlado. La parte superior de la válvula es desmontable, lo cual facilita la conexión y desconexión de la tubería para una instalación más cómoda.

Este dispositivo está diseñado para ser operado mediante microcontroladores, lo que permite automatizar el flujo de agua y garantizar un riego eficiente y preciso, adaptado a las necesidades específicas de las plantas.



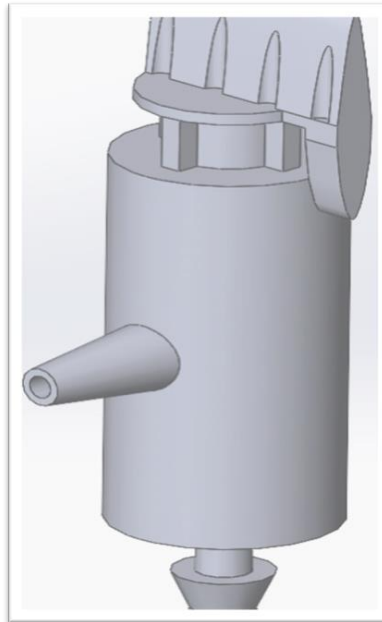
Figura 11



Propuesta 3

Sistema de micro-goteo con capacidad de almacenamiento y dosificación por temporizador

Figura 12



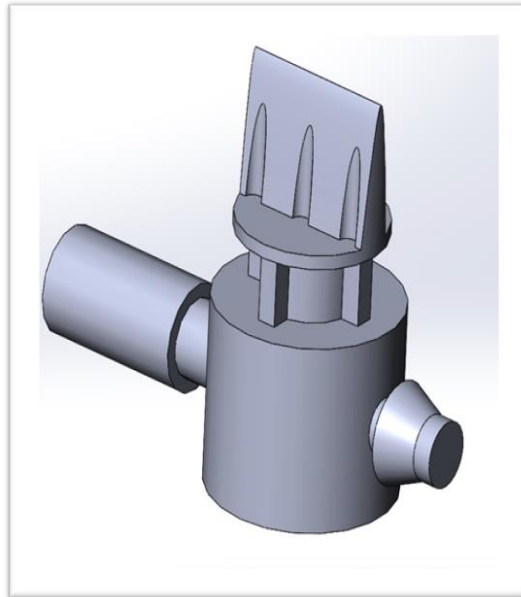
Propuesta 4

Esta válvula pretende por medio de sensores instalados en el extremo, dar lecturas de la humedad presente en los suelos, arrojando datos relevantes para el óptimo riego y disminución del consumo por medio del control en la dosificación del líquido.





Figura 13



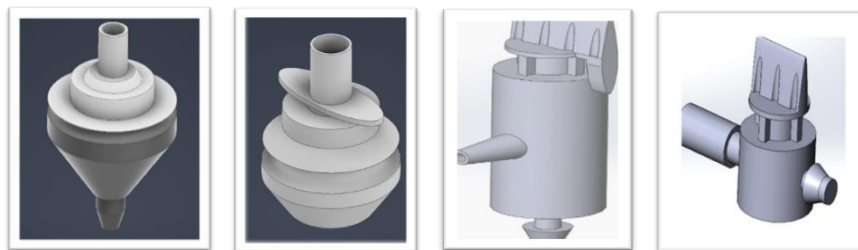
Evaluación de las propuestas

En nuestro compromiso por ayudar a que la agricultura sea más amigable con el medio ambiente, hemos creado un sistema de riego especial usando plástico reciclado. Nos centramos en crear una pequeña válvula que permite que el agua salga gota a gota. No elegimos este diseño por casualidad; esta válvula es como la parte principal de nuestro sistema, pues hace que cada gota de agua llegue justo donde la planta la necesita, evitando que se desperdicie como suele pasar con los sistemas de riego tradicionales donde el agua se evapora o se escurre por el suelo. Con este método de riego por goteo, no solo ahorramos agua, que es tan valiosa para todos, sino que también estamos dando una nueva vida a materiales plásticos que normalmente acabarían contaminando nuestro entorno. A continuación, generamos una calificación con los aspectos más importantes plasmados en el PDS para cada una de las propuestas.

Calificación:

Rango 1 - no cumple a 5 - cumple a cabalidad





Aspecto	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Compatibilidad	4	3	2	4
Eficiencia	5	4	4	3
Facilidad de instalar	5	2	3	4
Mantenimiento	4	4	3	2
Adaptabilidad	4	4	4	4
Resistencia	5	5	5	5
Total	27	22	21	22

Diseño de Detalle

Propuesta seleccionada

La Propuesta 1 fue seleccionada como la opción definitiva tras evaluar todas las alternativas disponibles. Su puntaje total de 27 puntos refleja un desempeño superior en aspectos clave como eficiencia y facilidad de instalación, donde alcanzó la máxima calificación posible. Esta propuesta demostró ser la más equilibrada para el componente, manteniendo niveles altos y consistentes en todas las características evaluadas, sin presentar debilidades significativas que pudieran comprometer su funcionamiento.

Además, se analizó el ángulo de salida de la válvula, ya que, en sistemas de microgoteo, los ángulos de salida suelen oscilar entre 30° y 45°, dependiendo de las condiciones del terreno y el flujo de agua requerido. Estos rangos permiten minimizar salpicaduras, mejorar la infiltración en el suelo y asegurar un riego más preciso y eficiente.

Con base en el diseño seleccionado, el sistema utiliza una bomba de agua de 12V, con una presión de trabajo de 2 bares y un caudal ajustable de 3 a 5 litros por minuto. Estas especificaciones influyen directamente en la elección del ángulo de salida, ya que un flujo

con esta presión requiere un ángulo equilibrado para evitar salidas excesivamente rápidas o concentración de agua en un punto.

Se establece un ángulo de salida de 35°. Este ajuste permitirá que el flujo proporcionado por la bomba sea distribuido de manera uniforme, evitando desperdicios y maximizando la cobertura del área a regar. Además, la presión de 5 bares es adecuada para mantener un suministro constante a través de los microgoteadores, lo que mejora la eficiencia hídrica al garantizar un caudal preciso en cada punto de emisión.

Finalmente, sería útil realizar simulaciones o pruebas de prototipo para confirmar que este ángulo y la presión trabajen en armonía con el diseño de la válvula y las condiciones reales del cultivo. Esto permitirá ajustar cualquier detalle técnico antes de la fabricación definitiva del sistema.

Los materiales utilizados aseguran que las válvulas sean seguras

Lista de componentes

Categoría	Componente	Especificación
Inyección	Microgoteador	Inyección plástica de polímeros reciclados
	Codos	Inyección plástica de polímeros reciclados
	Acople rápido	Inyección plástica de polímeros reciclados
Electrónicos	Controlador	Arduino Mega 2560
	Sensores	DHT11 (temperatura y humedad) YL-69 y módulo LM393
	Módulo	Relé 2 canales
	Alimentación	Fuente de poder S-60-12
Hidráulicos	Válvula	Solenoides 3/4" 12V
	Bomba	Bomba de agua
Comercial	Tubería	3/4"



Modelación 3D y/o Representación digital de la propuesta

Se realiza modelación de válvula, acoples y codos del sistema de riego, posterior a esto se genera un ensamble con tubería de un cuadrante de 100*100cm

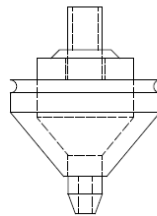
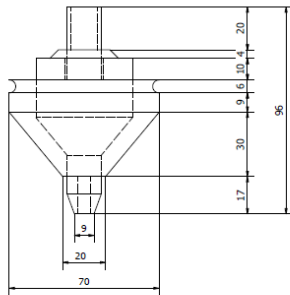
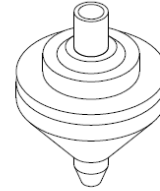
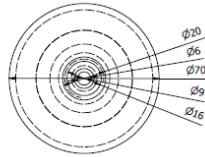


Planimetría

Figura 14

Válvula

NOTA:
1. PIEZA GENERADA POR INYECCIÓN EN PP RECICLADO



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Microgoteador 1	

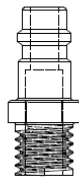
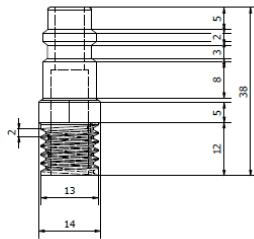
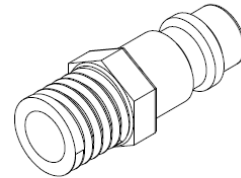
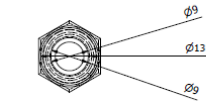
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Medidas
USER			27/11/2024	mm
			Escala 1:1	
			Microgoteador 1	1 / 1

Figura 15

Acople Hembra

NOTA:

1. PIEZA GENERADA POR INYECCIÓN EN PP RECICLADO
2. PASO DE ROSCA EXTERNA DE 2MM EN LA PARTE INFERIOR



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	acople-rapido_01_1	acople-rapido_01_1

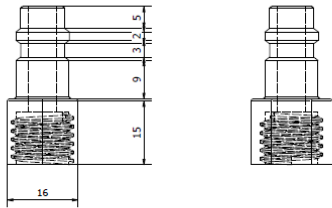
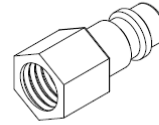
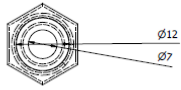
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Medidas
USER			1/11/2024	mm
Escala 2:1				
acople-rapido_01_1				Edición 1 / 1

Figura 16

Acople macho

NOTA:

1. PIEZA GENERADA POR INYECCIÓN EN PP RECICLADO
2. PASO DE ROSCA INTERNA DE 2MM EN LA PARTE INFERIOR



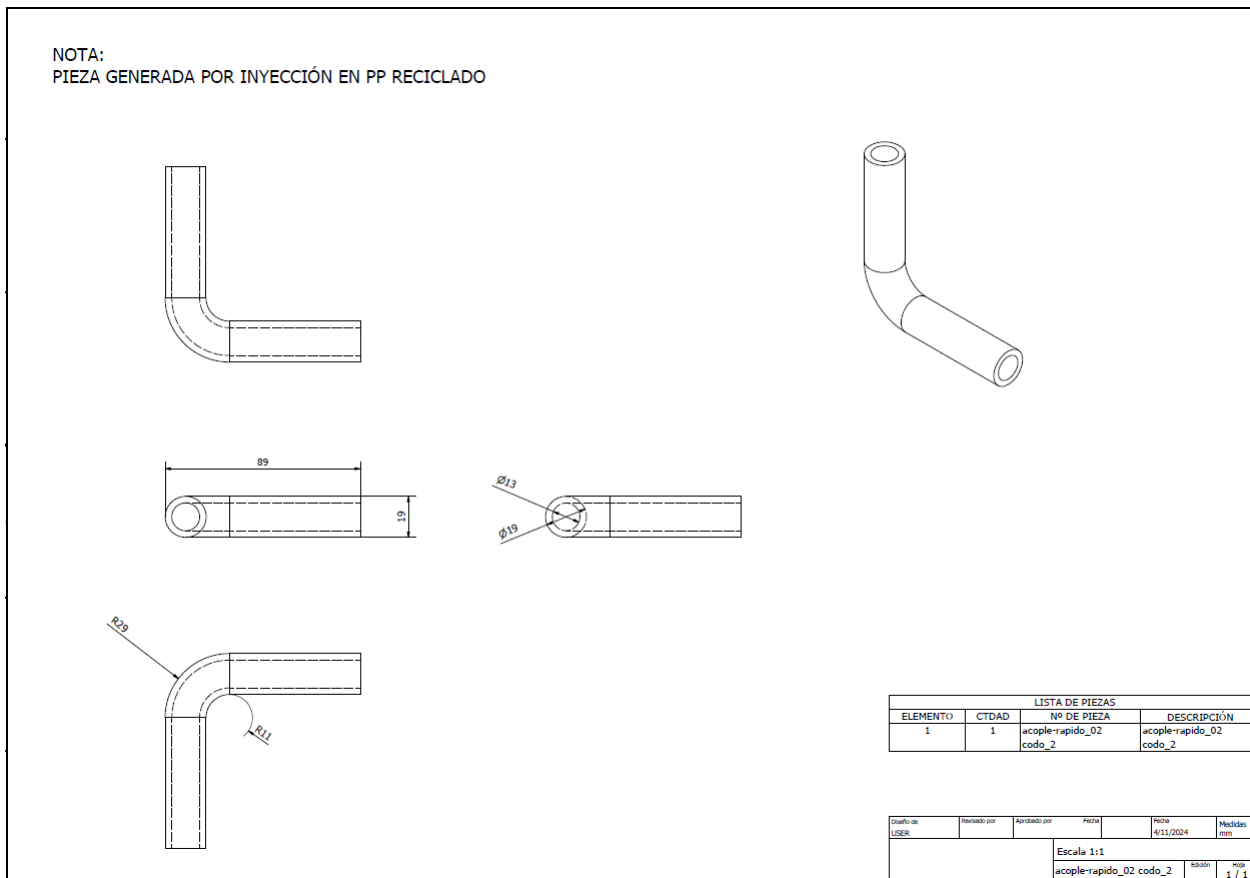
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	acople-rapido_01_0	acople-rapido_01_0

Diseño de	Elaborado por	Aprobado por	Fecha	Hoja	Medida
USER			1/11/2024		mm
Escala 2:1					
acople-rapido_01_0				0001	1 / 1



Figura 17

Codo



Carta de procesos

# Pieza	Descripción	Materiales	Insumos	Procesos	Máquinas y herramientas	Acabados	Observaciones
1. Válvula de micro goteo	Válvula de control para regular el flujo de agua en el sistema de micro goteo. Fabricada a partir de polímeros reciclados (PP) y posible fabricación por impresión 3D.	Polímeros reciclados (PP)	Filamento de polímeros reciclados (si es impresa)	Inyección de plásticos o impresión 3D.	Máquina de moldeo por inyección o impresora 3D (si es impresión).	Pulido de superficies, pruebas de ajuste y sellado de la válvula para evitar fugas.	Se producirán 20 unidades. Impresión 3D posible para la personalización o prototipado rápido.
2. Acople rápido 1/2"	Conector rápido para la conexión de tuberías. Fabricado a partir de polímeros reciclados (PP).	Polímeros reciclados (PP)	Filamento de polímeros reciclados (si es impresa)	Moldeo por inyección de plásticos.	Máquina de moldeo por inyección.	Inspección de calidad, verificación de sellos y pruebas de funcionalidad de acople y desacople rápido.	Se producirán 20 unidades. Impresión 3D posible para la personalización o prototipado rápido.
3. Tubería de 1/2"	Tubería genérica para distribución del agua en el sistema de riego.	Polietileno o PVC reciclado.	-	Extrusión de plásticos para tubería.	Máquina extrusora de tuberías plásticas.	Cortes de tubería a medida y sellado de extremos para evitar fugas.	El material puede ser genérico y obtenido localmente.
4. Uniones de 1/2"	Piezas de conexión para unir segmentos de tuberías en el sistema de riego.	Polímeros reciclados (PP).	-	Moldeo por inyección o extrusión para piezas pequeñas.	Máquina de moldeo por inyección o extrusión.	Pulido de bordes, inspección de ajuste y pruebas de estanqueidad.	Producir la cantidad necesaria según diseño de la red de riego.

5. Bomba de agua compacta	Bomba de agua sumergible de 5V (KeeYees o SunFounder) para impulsar el agua en el sistema de riego.	Plásticos, metal, componentes electrónicos.	Cables, conectores.	Ensamblaje de la bomba, pruebas de funcionamiento.	Soldador, estación de ensamblaje, herramientas de precisión.	Pruebas de estanqueidad y presión del agua.	Se seleccionará según disponibilidad (KeeYees o SunFounder).
6. Sensor de humedad y temperatura	Sensor DHT11 para medir la humedad del suelo y la temperatura, integrando automatización en el sistema de riego.	Plástico y componentes electrónicos.	Chips, cables, conectores, soldadura.	Ensamblaje electrónico y encapsulado.	Soldador, estación de ensamblaje, herramientas de precisión.	Pruebas de funcionamiento, calibración del sensor.	Se integra en el sistema de control del riego.
7. Sensor de nivel de agua	Sensor ultrasónico HC-SR04 o sensor capacitivo para medir el nivel de agua en el tanque de riego.	Plásticos, componentes electrónicos.	Chips, cables, conectores, soldadura.	Ensamblaje electrónico y calibración del sensor.	Soldador, estación de ensamblaje, herramientas de precisión.	Pruebas de funcionamiento y calibración del sensor para medición precisa.	Se integrará con el sistema de automatización del riego.


Proceso de fabricación.

El proceso de producción de las válvulas, acoples y codos se realizará mediante inyección plástica, utilizando como materia prima principal polipropileno reciclado. Este material ha sido seleccionado por su adecuada fluidez en estado fundido, su resistencia mecánica y su compatibilidad con aplicaciones agrícolas. El ciclo de fabricación inicia con la alimentación del polipropileno reciclado, previamente triturado y clasificado, en la tolva de la máquina de inyección. El material es luego fundido en el barril calentador, donde alcanza una temperatura promedio de 220°C, asegurando una viscosidad óptima para su inyección en los moldes.

Los moldes, diseñados específicamente para las geometrías de cada componente, incluyen detalles técnicos como bordes redondeados de 2 cm, que garantizan un desmoldeo eficiente y evitan imperfecciones como rebabas o marcas de contracción. Una vez completado el ciclo de inyección, las piezas son expulsadas y pasan por un control de calidad para verificar dimensiones, uniformidad y resistencia. Este proceso no solo promueve la reutilización de plásticos postindustriales, sino que también contribuye a reducir la huella ambiental, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular en la industria agrícola.

Los materiales utilizados aseguran que las válvulas sean seguras para la manipulación y duraderas en condiciones de uso agrícola.

Los redondeos propuestos, de **2 cm**, son una decisión técnica acertada para garantizar la funcionalidad y la manufacturabilidad de la válvula. Estos redondeos cumplen varias funciones importantes:

- **Prevención de acumulación de material:** Los bordes suaves evitan que el polímero se amarre o se acumule en el molde durante el proceso de inyección, lo que reduce defectos como rebabas o puntos de tensión.
 - **Optimización del flujo:** Los bordes redondeados contribuyen a una transición más fluida del agua dentro de la válvula, minimizando la resistencia y evitando turbulencias que podrían afectar la eficiencia del sistema.
 - **Seguridad y ergonomía:** Eliminar bordes afilados asegura que las válvulas sean seguras de manipular por los agricultores, mejorando la experiencia del usuario durante el montaje y mantenimiento.
- 

Técnicamente, el radio de redondeo de 2 cm es adecuado para este tipo de piezas fabricadas en polipropileno reciclado, dado que este material presenta una buena fluidez al calentarse y un comportamiento uniforme al enfriarse en moldes con geometrías suaves.

El diseño de las válvulas con bordes redondeados no solo asegura una funcionalidad óptima, sino que también favorece un proceso de manufactura eficiente y sostenible. Estos redondeos minimizan defectos comunes en la inyección plástica, como rebabas o marcas de contracción, y optimizan el flujo del material dentro del molde. De esta forma, el diseño contribuye a un mejor aprovechamiento del polipropileno reciclado, garantizando piezas de alta calidad con un menor impacto ambiental.

Dentro de este contexto, se analizaron los datos de desperdicio de polipropileno tanto a nivel mundial como nacional. A nivel global, según *Our World in Data*, el 20% del plástico producido se recicla, pero gran parte del restante se pierde durante procesos de disposición y manejo inadecuado. En técnicas como la inyección plástica, los ajustes iniciales y procesos no optimizados generan desperdicios que oscilan entre el 5% y 10% del material utilizado (Ritchie & Roser, 2018).

En el caso de Colombia, el informe de la OCDE destaca que el país enfrenta desafíos similares, con tasas de desperdicio industrial de plásticos que varían entre el 8% y 12%. Este porcentaje refleja las limitaciones en infraestructura de reciclaje y la falta de prácticas estandarizadas para minimizar pérdidas durante procesos como la inyección y el moldeo (OECD, 2021)

La integración de estrategias sostenibles y el uso de polipropileno reciclado no solo buscan mitigar estas cifras, sino también promover un sistema de manufactura más eficiente y respetuoso con el medio ambiente, alineado con los principios de economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2021).

El proceso de reutilización de polipropileno reciclado fue seleccionado debido a su alineación con los principios de economía circular y su impacto positivo en la sostenibilidad. Según estudios recientes, la reutilización de polímeros reciclados puede reducir hasta en un 30% las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de plásticos nuevos.

Para la fabricación de válvulas, codos y acoples, el polipropileno reciclado ofrece ventajas significativas:



- **Facilidad de procesamiento:** Este material mantiene una buena fluidez en procesos de inyección, permitiendo fabricar piezas complejas con moldes reutilizables.
- **Resistencia mecánica:** A pesar de ser reciclado, conserva propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones agrícolas, incluyendo resistencia a la presión y estabilidad química.
- **Reducción de costos:** La utilización de desechos plásticos industriales puede disminuir los costos de materia prima en un 20-25%, haciéndolo accesible para pequeños agricultores.

Estos datos refuerzan la decisión de adoptar este enfoque técnico, promoviendo un diseño sostenible, eficiente y accesible para la industria agrícola.



Ficha técnica



SISTEMA DE RIEGO

Este sistema ha sido diseñado para lograr una administración precisa del riego. Los sensores incluidos permiten monitorear la humedad y la temperatura, ajustando automáticamente el flujo de agua y asegurando un suministro constante y controlado que responde a las necesidades específicas del cultivo en cada fase de crecimiento. El uso de este sistema busca, no solo maximizar la eficiencia en el consumo de agua, sino también mejorar la calidad y el rendimiento de los pimentones.

CARACTERÍSTICAS

- Fabricado a partir de polímeros reciclados
- Disminución de la pérdida de fluidos.
- Vida útil igual o mayor a 5 años.
- Resistencia a diferentes condiciones climáticas.
- Fácil instalación.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tubería	3/4"
Bomba	Bomba de agua
Válvula	Solenoide 3/4" 12V
Alimentación	Fuente de poder 5-60-12
Módulo	Relé 2 canales
Sensor	DHT11 (temperatura y humedad)
Controlador	Arduino Mega 2560
Acople rápido	Inyección de polímeros reciclados
Codos	Inyección de polímeros reciclados
Microgoteador	Inyección de polímeros reciclados

ENSAMBLADO

Por medio de uniones con sistema de acople rápido se facilita el montaje y desmontaje de la partes que componen el sistema de riego facilitando su instalación y cambio de piezas.

GARANTÍA

Nuestro sistema de riego ofrece una larga vida útil basada en los materiales y procesos con los que son fabricados e implementa sistemas de acoples seguros, libres de pérdidas.

COLORES

Variedad de colores de tejido disponibles a pedido.



Contacto
Juan Esteban Herrera Agudelo
jahc0716@gmail.com
Cel: (+57) 318 644 8810
Adinnyer Alberto Foronda
adinnyerforonda@gmail.com
Cel: (+57) 302 343 5270



Presupuesto: Proyección de los costos del producto mínimo viable

FORMATOS DE COSTO

Formato Costo de Producción

<u>Cantidad</u>	<u>Medida</u>	<u>Detalle</u>	<u>Costo Fijo</u>	<u>Costo Variable</u>
1	Unidad	Molde Microgoteador	10,000,000	
1	Unidad	Molde Acople Rápido	7,200,000	
1	Unidad	Molde Tubería	8,000,000	
1	Kg	PP Reciclado		14,000
1	Hora	Energía Máquina		60,000
Total			25,200,000	74,000

Formato Costo de Producción

<u>Materiales</u>	<u>Directo</u>	<u>Indirecto</u>	<u>Costo</u>
<i>PP Reciclado</i>	X		14,000/kg
<i>Empaque</i>		X	2,000/und
<i>Etiquetas</i>		X	1,000/und
<i>Cajas</i>		X	8,000/und

<u>Mano de obra</u>	<u>Directa</u>	<u>Indirecta</u>	<u>Costo</u>
<i>Operador máquina</i>	X		100,000/hora
<i>Supervisor</i>		X	140,000/hora
<i>Control calidad</i>		X	120,000/hora

<u>Otros costos</u>	<u>Directo</u>	<u>Indirecto</u>	<u>Costo</u>
<i>Energía</i>	X		60,000/hora
<i>Mantenimiento</i>		X	40,000/hora
<i>Depreciación</i>		X	32,000/hora

<i>Costo total</i>	517,000
--------------------	---------



Formato Costo de Producción

Elementos de costo	Materiales directos	Mano de obra directa	Costos indirectos de fabricación	Costo total
<i>Por hora</i>	14,000	100,000	403,000	517,000
<i>Por día (8h)</i>	112,000	800,000	3,224,000	4,136,000
<i>Por semana (40h)</i>	560,000	4,000,000	16,120,000	20,680,000
<i>Total</i>	686,000	4,900,000	19,747,000	25,333,000

Formato Estructura de Costos para Diferentes Cantidades

Cantidad	Coste Medio Fijo	Costo Variable	Costo Total (CF+CV)	Costo Medio (CF+CV/Cantidad)
0	25,200,000	0	25,200,000	=
10	25,200	74,000,000	99,200,000	99,200
20	12,600	148,000,000	173,200,000	86,600
30	5,040	370,000,000	395,200,000	79,040
40	2,520	740,000,000	765,200,000	76,520

DIVULGACIÓN

03



CAPÍTULO 3. DIVULGACIÓN

Aplicación de render en contexto, relación con el usuario, secuencia de uso.



CONCLUSIONES

La investigación permitió analizar los sistemas de riego más utilizados actualmente, evidenciando que el riego por goteo, aunque eficiente en el uso del agua, presenta limitaciones en cuanto a costos iniciales y mantenimiento. Esto destacó la necesidad de diseñar una alternativa económica y sostenible que aprovechara materiales reciclados, maximizando los recursos disponibles en la región.

A través de un proceso interactivo de diseño, se desarrollaron varias propuestas que incorporaron polímeros reciclados como componente principal. La propuesta seleccionada, basada en válvulas de micro goteo de alta precisión, optimiza el uso del agua y minimiza el impacto ambiental, demostrando la viabilidad técnica y sostenible de este enfoque.

El prototipo construido y validado demostró una mejora significativa en la eficiencia hídrica en comparación con los sistemas tradicionales. Las pruebas realizadas confirmaron la durabilidad de los materiales reciclados y la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes condiciones topográficas y de cultivo, cumpliendo los estándares establecidos en los objetivos del proyecto.

El manual de usuario desarrollado ofrece instrucciones claras y accesibles para el ensamblaje, uso y mantenimiento del sistema de riego. Esto asegura que los agricultores puedan implementar y operar el sistema de manera efectiva, promoviendo su adopción a nivel local y reduciendo la curva de aprendizaje asociada a nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

Copele. (n.d.). Ventajas del plástico reciclado en la agricultura. Copele. Recuperado de <https://copele.com/es/blog/granja-y-hogar/ventajas-del-plastico-reciclado-en-la-agricultura>

Echeverría, L., & Álvarez, A. (2019). La importancia del diseño industrial en la agricultura sostenible. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47021105008>

Ellen MacArthur Foundation. (2021). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>

Hernández, A. R., & González, C. (2016). El uso de la tecnología en la agricultura: Una visión global. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=614265299007>

Jaramillo, R., & Pérez, M. (2020). Desarrollo de productos agrícolas sostenibles con diseño industrial. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238208>

Martínez, L., & Soto, J. (2020). El papel del diseño industrial en la mejora de procesos agrícolas. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215941012>

Medina, F. (2018). Plásticos reciclados para la agricultura: Avances y perspectivas. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=469566079003>

OECD. (2021). Global Plastics Outlook: Plastic waste by region and end-of-life fate. OECD iLibrary. Recuperado de <https://www.oecd-ilibrary.org>

Pérez, L., & Gómez, E. (2021). Aplicaciones del diseño industrial en la agroindustria. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10223040003>

Ramos, J. P., & García, L. (2017). Innovación en el diseño industrial para la agricultura ecológica. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93222252007>

Ríos, F., & González, P. (2015). La sostenibilidad en la agricultura a través del diseño industrial. Redalyc. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217832014>

Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Plastic Pollution. Our World in Data. Recuperado de <https://ourworldindata.org>

Rodríguez, J. (2020). Diseño industrial y su impacto en la producción agrícola eficiente. SciELO. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/po/a/fCsL7qcW7V9Qr5DXjyxSKCQ/?lang=en>

Vázquez, M. (2018). Tendencias en el diseño industrial aplicado a la agricultura. Scopus. Recuperado de <https://scopus.bibliotecaitm.elogim.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172409218&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=6fdc8c40695781fba6bd124c08916804&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2C%22AGRI%22%2Ct%2C%22SOCIO%22%2Ct&s=TITLE-ABS->



BIBLIOGRAFÍA

KEY%28%28+%22industrial+design%22+OR+Design+%29+AND+%22agricultura%22%29&sl=57&sessionSearchId=6fdc8c40695781fba6bd124c08916804&relpos=5

