

**SISTEMA DE RIEGO DE LEONARDO DA VINCI**

**LEONARDO DA VINCI IRRIGATION SYSTEM**

**Autor 1 (Dayana Carolina Ovalle Ninco)[[1]](#footnote-1)**

**Autor 2 (Diego Andres Osuna Baron)[[2]](#footnote-2)**

**Autor 3 (Jose Miguel Bermudez)[[3]](#footnote-3)**

**Autor 4 (Felipe Chaparro)[[4]](#footnote-4)**

**RESUMEN**

El proyecto consiste en la construcción y prueba de un sistema de riego basado en los diseños de Leonardo da Vinci, utilizando principios hidráulicos como el tornillo de Arquímedes y sistemas de bombeo. Su objetivo es evaluar su aplicabilidad en la agricultura sostenible, específicamente en el cultivo de lechuga crespa, optimizando el uso del agua y reduciendo desperdicios.

Se desarrolla un modelo a escala, realizando pruebas para analizar su eficiencia en la distribución del agua y su impacto en el crecimiento de los cultivos. El proyecto se fundamenta en la recuperación de tecnologías hidráulicas históricas, aplicadas a un pequeño cultivo, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con el uso responsable del agua y la producción agrícola eficiente.

***Palabras claves:*** Sistema de riego, tornillo de Arquímedes, eficiencia hídrica, lechuga crespa, sostenibilidad

**ABSTRACT**

The project consists of the construction and testing of anirrigation system based on Leonard Vinci's designs, using hydraulic principles such as Archimedes' screw and water wheels. Its objective is to evaluate its applicability in sustainable agriculture, specifically in the cultivation ofcurly lettuce, optimizing water use and reducing waste.

A scale model will be developed and tested to analyze itsefficiency in water distribution and its impact on cropgrowth. The project is based on the recovery of historicalhydraulic technologies applied to modern agriculture, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs) related tothe responsible use of water and efficient agriculturalproduction.

***KEYWORD*: Irrigation system, Archimedes screw, water efficiency, curly lettuce, sustainability.**

**1 INTRODUCCIÓN**

**Definición del problema:**

El problema radica en la necesidad de comprender y analizar el funcionamiento del sistema de riego ideado por Leonardo da Vinci en un contexto real. A través de la construcción y prueba de un modelo funcional inspirado en los sistemas de riego de Da Vinci, se busca evaluar su aplicabilidad en cultivos como la lechuga crespa (Lactuca sativa) en Bogotá, contribuyendo a la recuperación de tecnologías hidráulicas históricas y su posible implementación. Asimismo, este proyecto se enmarca en el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): que promueve el uso responsable y sostenible del agua en la agricultura.

**Introducción general**  
 Leonardo da Vinci (1452‑1519) desarrolló múltiples inventos vinculados a la hidráulica. Entre ellos se destaca un sistema de riego que combinaba mecanismos como el tornillo de Arquímedes y ruedas hidráulicas para transportar agua desde pozos o cursos fluviales hacia campos de cultivo. Con base en estos principios científicos básicos, el presente proyecto busca recrear y demostrar, a escala simplificada, el funcionamiento de dicho sistema de riego.

Por medio de la construcción de un prototipo funcional, se pretende mostrar lo innovador de la maquinaria de Da Vinci, generar datos experimentales sobre su eficiencia y, finalmente, implementar el modelo en un pequeño cultivo de lechuga crespa. Este cultivo se seleccionó por su crecimiento rápido, su requerimiento de humedad constante sin encharcamientos y la posibilidad de monitorear parámetros como humedad del suelo, salud de las plantas y tiempo de crecimiento. Así, se evaluará si el sistema ofrece una distribución uniforme del agua, evita desperdicios y optimiza la gestión del recurso hídrico.

**2. Marco teórico**

2.1. Sistemas hidráulicos en la agricultura

La hidráulica ha mejorado la eficiencia del riego al garantizar un suministro constante a los cultivos. El tornillo de Arquímedes eleva el agua mediante un movimiento helicoidal, permitiendo el flujo constante hacia zonas más elevadas (Artistas y Cuadros, s.f.). Leonardo da Vinci perfeccionó este y otros mecanismos, como las ruedas hidráulicas, para optimizar el uso del agua en su época (Google Arts & Culture, s.f.).

2.2. Condiciones del cultivo: lechuga crespa (Lactuca sativa var. crispa)

Ubicación: Sabana de Bogotá, Colombia.

Temperatura ideal: 10 °C – 22 °C.

Suelo: franco‑arenoso, buen drenaje, pH 6.0 – 6.8.

Frecuencia de riego: cada 2‑3 días, evitando encharcamientos.

Tiempo de cosecha: 40‑55 días (Cámara de Comercio, 2015).

Control fitosanitario: cada 2‑3 semanas.

Valor nutricional: 16 kcal/100 g; 1.13 g proteína/100 g.

Para un cultivo moderno de lechuga crespa, el riego eficiente es esencial: esta hortaliza es muy sensible al estrés hídrico y requiere humedad constante sin excesos, de modo que un sistema inspirado en Da Vinci podría aportar uniformidad en la distribución del agua y reducir pérdidas (Acar, 2020).

2.3. Aplicación del sistema en cultivos modernos

Este proyecto evaluará la eficiencia de un sistema de riego da Vinci‑inspirado, analizando la inclinación del tornillo de Arquímedes y el caudal de agua para optimizar la distribución hídrica en un cultivo de lechuga crespa en Bogotá. La idea es comparar rendimientos y evidenciar si, en un contexto actual, dicha tecnología histórica aporta ventajas en términos de eficiencia energética y economía de agua.

2.4. Principios físicos y matemáticos

Movimiento helicoidal: el tornillo de Arquímedes eleva agua mediante la rotación de una hélice incrustada en el interior o alrededor de un tubo. Al girar con cierto ángulo, captura el agua en compartimentos formados entre la hélice y las paredes del tubo, llevándola hacia arriba.

Cálculo de caudal y pendiente: la velocidad de rotación y la inclinación determinan el caudal (volumen/tiempo). Para un cultivo específico, se debe ajustar el flujo para satisfacer la demanda sin encharcamiento.

Eficiencia hidráulica: se modela frecuentemente como una función lineal (por ejemplo, V(t) = k·t, donde V es volumen elevado y t tiempo), siempre que la rotación sea constante. En este proyecto se estimó un caudal aproximado de 43.75 ml/s cuando el tornillo rota a razón de una vuelta cada 4 s.

2.5. El agua como recurso natural

El agua es esencial para la vida y el desarrollo ambiental, agrícola, industrial y energético. Aproximadamente el 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero solo un pequeño porcentaje es agua dulce utilizable. Según la ONU, el acceso al agua potable es un derecho humano fundamental, y el uso eficiente es un desafío global (ONU, 2015).

2.5.1. Importancia del agua para el desarrollo humano y ambiental

Garantizar un uso sostenible y equitativo del agua es crucial para preservar ecosistemas y satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (López & García, 2017).

2.6. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico describe el movimiento continuo del agua sobre, debajo y a través de la superficie terrestre: precipitación, evaporación, condensación, filtración y escorrentía. Este conocimiento es la base para diseñar sistemas de riego que se adapten a los procesos naturales de recarga y desplazamiento del agua (Boudreau, 2008).

2.7. Propiedades químicas del agua

2.7.1. Estructura molecular

La molécula de agua (H₂O) es polar debido a la diferencia de electronegatividad entre oxígeno e hidrógeno. Este carácter polar permite la formación de enlaces de hidrógeno, responsables de su alto punto de ebullición y fusión en comparación con moléculas de tamaño similar (Atkins & de Paula, 2014).

2.7.2. Propiedades de solvente

El agua, “disolvente universal”, puede disolver compuestos iónicos y polares, lo que la convierte en un medio ideal para múltiples reacciones químicas (McMurry & Fay, 2014).

2.7.3. Alta capacidad calorífica

El agua absorbe o libera grandes cantidades de energía sin cambiar significativamente su temperatura, manteniendo la estabilidad térmica en sistemas biológicos e industriales (Chang, 2010).

2.7.4. Punto de ebullición y fusión

A nivel del mar, el agua hierve a 100 °C y se funde a 0 °C, valores relativamente altos para una molécula de tan bajo peso molecular, debido a la presencia de enlaces de hidrógeno (McMurry & Fay, 2014).

2.8. Agua en reacciones químicas

2.8.1. Reacciones ácido-base

El agua es anfótera; en pureza se disocia mínimamente en iones hidronio (H₃O⁺) e hidróxido (OH⁻), manteniendo un pH neutro cercano a 7 (Atkins & de Paula, 2014).

2.8.2. Reacciones de hidrólisis

En procesos de hidrólisis, el agua se divide para romper enlaces en otros compuestos, como en la descomposición de ésteres y sales.

2.8.3. Reacciones redox

En reacciones de óxido‑reducción, el agua participa, por ejemplo, en la fotosíntesis, donde se oxida para liberar oxígeno y reducir dióxido de carbono a glucosa.

2.9. Agua en soluciones y equilibrios químicos

2.9.1. Solubilidad y conductividad

La capacidad del agua para disolver sustancias influye en su conductividad eléctrica, la cual aumenta con la concentración de iones (sales, ácidos, bases).

2.9.2. Equilibrio químico del agua

En soluciones acuosas, el producto iónico se define como:

Este equilibrio es esencial para el mantenimiento del pH.

2.10. Principios básicos de química aplicados al proyecto

Estados de la materia y propiedades físicas del agua: densidad, viscosidad y tensión superficial influyen en el flujo dentro de mangueras, tubos y canales de distribución.

Interacción agua‑materiales: el PVC, las mangueras plásticas, la madera y el metal se eligen por su resistencia química y estabilidad frente a la humedad, evitando reacciones no deseadas.

Cambios físicos frente a químicos: en este sistema, el agua no se transforma químicamente, solo cambia de posición. Esto ejemplifica la conservación de la materia.

Conductividad eléctrica para automatización: al emplear Arduino y circuitos, se seleccionan conductores y aislantes adecuados para garantizar seguridad, evitando la corrosión o cortocircuitos en presencia de agua.

2.11. Sostenibilidad

Revalorar tecnologías antiguas, como los sistemas hidráulicos de Da Vinci, puede contribuir a la sostenibilidad actual:

ODS 6 (Agua limpia y saneamiento): el uso eficiente y responsable del agua es esencial; estos sistemas aprovechan la gravedad y minimizan el consumo energético.

**3. Metodología:**

1. Investigación y fundamentación

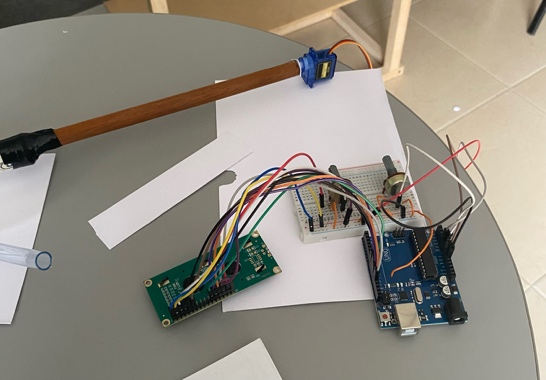
Estudio de sistemas hidráulicos históricos, especialmente diseños de Da Vinci, y su posible aplicación en riego actual.

2. Diseño y planificación

Definir el diseño preliminar del sistema de riego: dimensiones, materiales y esquema de funcionamiento para el área delimitada (matera única para lechugas).

3. Adquisición de materiales

Seleccionar y medir materiales: palos de balsa, tablas, tornillos, tubos PVC, mangueras, balde plástico, Arduino, motor y protoboards.



Construcción del modelo a escala

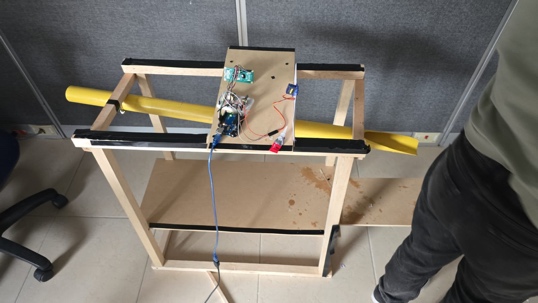
4. Ensamblar el prototipo:

Base fija con palos de balsa y tablas (tabla principal de 70 cm × 30 cm; secundaria de 70 cm × 20 cm).

Tornillo de Arquímedes artesanal: tubo PVC de 70 cm con manguera helicoidal de 1.5 m.

Canal superior con cortes frontales para distribuir agua a cada planta.

Bandeja para recoger el exceso de agua y proteger la madera.



5. Instalación del sistema de riego

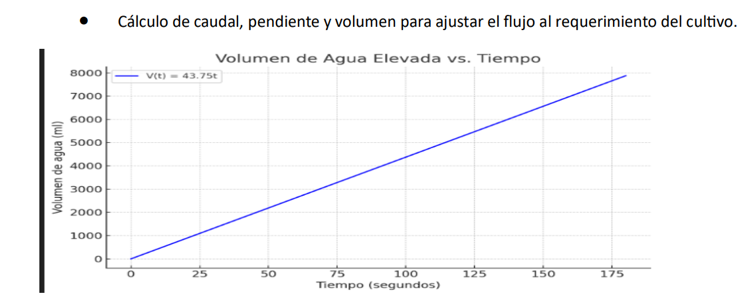
Montaje en entorno controlado para garantizar correctas pruebas de funcionamiento antes de aplicarlo al cultivo de lechuga.

6. Mediciones y cálculos hidráulicos

Pruebas iniciales de caudal y distribución.

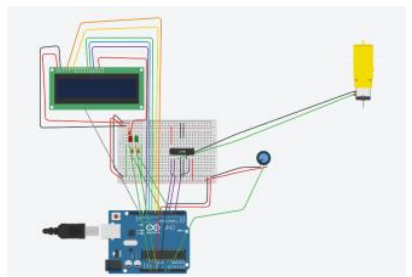
Cálculo de flujo por vuelta: volumen aproximado de 175 ml por vuelta; estimación de 43.75 ml/s si la hélice rota a 1 vuelta/4 s.

7. Modelado lineal (teórico):



8. Uso de herramientas metodológicas

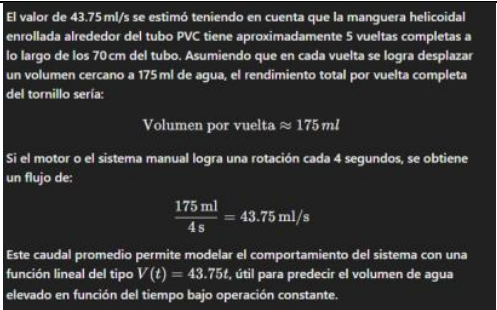
Arduino y Tinkercad: simular y probar el circuito de control del motor antes de implementarlo físicamente.



Autodesk Civil 3D: modelar la estructura para evaluar dimensiones y ubicaciones del tornillo, tubo distribuidor y base.



ChatGPT: apoyo en la redacción y mejora del código Arduino, así como en justificaciones teóricas del diseño.



**4. Discusión y resultados**

4.1. Avance preliminar del prototipo funcional

Se construyó la base fija con palos de balsa y tablas, utilizando tornillos de 5 cm.

Tabla principal: 70 cm × 30 cm; tabla secundaria: 70 cm × 20 cm.

Ocho palos de balsa de 70 cm y seis de 30 cm conforman la estructura vertical, alcanzando una altura total de 43.5 cm desde la base hasta la parte superior del tornillo de Arquímedes.

Distribución del agua:

Instalación de un tubo PVC sanitario de 1½ pulgadas de diámetro y 1 m de largo, con cortes frontales para salida dirigida a cada planta.

Tornillo de Arquímedes artesanal: tubo PVC de 70 cm con manguera helicoidal de 1.5 m alrededor. El sistema debe elevar agua desde un balde plástico ubicado en la parte inferior.

Se reutilizaron materiales disponibles: tubo PVC amarillo, balde verde.

Automatización parcial (en desarrollo):

Circuito electrónico con Arduino, protoboards y un servomotor para accionar el tornillo.

Objetivo: reducir esfuerzo manual y simular una operación real automatizada.

Figura 1. Prototipo funcional del sistema de riego.

4.2. Mediciones preliminares

4.2.1. Estimación teórica de volumen por vuelta

La manguera helicoidal alrededor del tubo PVC tiene aproximadamente 5 vueltas en 70 cm.

Cada vuelta desplaza cerca de 175 ml.

Volumen total teórico por vuelta: ~175 ml.

Caudal teórico si el tornillo gira a 1 vuelta/4 s:

Modelo lineal teórico (El que es nombrado en diseño y planeación)

4.2.2. Resultados prácticos (flujo con 0.5 L)

Se decidió probar un volumen menor para simplificar mediciones y observar el comportamiento inicial del flujo.

Para elevar 0.5 litros de agua (500 ml) mediante rotación manual:

El sistema tardó 90 segundos en total para entregar 0.5 L desde el balde inferior hasta el canal superior.

Esto equivale a un flujo promedio real de:

Observación clave: este flujo práctico (≈ 5.56 ml/s) es casi ocho veces menor que el caudal teórico de 43.75 ml/s. En otras palabras, el agua sube muy lentamente en comparación con la predicción teórica y aún más lento cuando se trabaja con menor cantidad de agua.

Razones probables del flujo reducido al usar 0.5 L

Fricción interna y pérdidas mecánicas constantes: aunque el volumen es menor, la fricción en la hélice y el tubo no varía proporcionalmente, por lo que el caudal desciende aún más.

Menor «inercia» del agua al inicio: con menos volumen inicial, el sistema tarda más en estabilizar el flujo, incrementando el tiempo por mililitro transportado.

Rotación manual irregular: al hacer más esfuerzo a mano para levantar incluso menos agua, la velocidad de giro es más discontinua, provocando un caudal promedio aún menor.

Aire atrapado más rápidamente: en pruebas con volúmenes pequeños, el aire en la manguera tiende a acumularse antes, bloqueando parcial o totalmente el paso del agua.

4.4. Interpretación de resultados y discusión

Diferencia entre teoría y práctica (con 0.5 L)

El flujo teórico sigue siendo 43.75 ml/s, pero al probar con 0.5 L y rotación manual el valor real fue de apenas 5.56 ml/s, representando aproximadamente el 12.7 % del valor teórico.

Al reducir el volumen a 0.5 L, la ineficiencia del sistema se hace más evidente, ya que las pérdidas (fricción, aire atrapado) impactan de forma más significativa en el flujo global.

Impacto en el sistema de riego para lechuga crespa

Con un flujo real de 5.56 ml/s, en 10 minutos el sistema elevaría apenas unos 3.3 L (≈0.56 L/min × 6 min; en 10 min se cubren solo 833 ml), cantidad insuficiente para regar varias plantas de lechuga de forma adecuada.

Para regar un canal de 8 raíces de lechuga, se necesitarían al menos 5 L cada ciclo; con este flujo práctico, el tiempo de riego se alargaría demasiado o las plantas recibirían un caudal deficitario.

Ajustes necesarios para la motorización y optimización

Mejorar acoplamiento manguera‑tubo: minimizar el espacio libre que permite fugas de agua y atrapamiento de aire.

Elegir un motor con rpm constante y torque suficiente: asegurar que la hélice gire continuamente a 1 vuelta/4 s (15 rpm), o bien ajustar la relación de velocidad para un motor disponible (por ejemplo, 20 rpm) y modificar la hélice en consecuencia.

Revisar y reducir la inclinación real: si el tornillo está a un ángulo superior a 30 °, se incrementa el esfuerzo mecánico. Ajustar la inclinación a 25 ° o menos podría mejorar el flujo incluso con volúmenes pequeños.

Sellar mejor la manguera: emplear cinta de teflón o selladores adecuados para PVC, evitando que el aire se acumule y genere vacíos que ralenticen el flujo.

Lubricación ligera de superficies internas: usar un lubricante compatible con agua para reducir fricción.

Perspectivas para un cultivo real

Con un flujo práctico de 5.56 ml/s, el riego manual es prácticamente inviable para más de 1–2 plantas de lechuga.

Una vez motorizado correctamente y con las mejoras anteriores, se espera que el sistema alcance al menos un 60 %–70 % del caudal teórico (≈26 ml/s).

A ese nivel, sería posible regar un lote pequeño de 6–8 plantas sin encharcar, siempre y cuando el canal distribuidor garantice salidas uniformes.

Conclusión parcial de resultados:  
 Al probar con un volumen menor (0.5 L), se evidencia que el prototipo levanta el agua muy lentamente (≈5.56 ml/s), mucho menos que lo estimado teóricamente. Para convertir esta versión en un sistema práctico para lechuga crespa, es imprescindible motorización estable, mejoras en el sellado mecánico y ajuste de inclinación. Estos cambios permitirán acercarse a la eficiencia hidráulica esperada de un diseño inspirado en Leonardo da Vinci.

**5. Conclusiones**

* Desempeño y mejoras necesarias:  
   Aunque el tornillo de Arquímedes construido eleva agua, el caudal práctico (≈ 5,6 ml/s con 0,5 L) está muy por debajo del valor teórico (43,75 ml/s) debido a fricción interna, aire atrapado y rotación manual irregular. Para acercarse al rendimiento esperado, es imprescindible una motorización estable (15 rpm constantes), mejorar el sellado manguera–cilindro y ajustar la inclinación a cerca de 25°.
* Aplicabilidad en Bogotá:  
   Tras optimización mecánica y motorización, el sistema podría ser viable para pequeños huertos urbanos de lechuga crespa en Bogotá, donde el clima (10 °C–22 °C) y la disponibilidad de agua requieren soluciones sostenibles. Su bajo consumo energético y uso de materiales locales permiten implementarlo en espacios reducidos (techos o balcones) contribuyendo al uso eficiente del recurso hídrico en la Sabana de Bogotá.
* Líneas de trabajo futuro:  
   Se recomienda probar materiales con menor rugosidad interna (mangueras o hélices modificadas), incorporar sensores de humedad y control automático por Arduino para optimizar el riego, y evaluar el rendimiento en un ciclo completo de cultivo comparando resultados con métodos convencionales.

6. **Bibliografía**

Leskobar.D, Agehara.S,Xu.C,Sharma.S,(2014). Irrigation Strategies for

Vegetable Crops in Water-Limited Environments. Researchgate.Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Leskovar/publication/274637514\_Irrigation\_Strategies\_for\_Vegetable\_Crops\_in\_Water-Limited\_Environments/links/55242bc40cf2b123c517369c/Irrigation-Strategies-for-Vegetable-Crops-in-Water-Limited-Environments.pdf

• Acar,B.(2020). Water - yield relationships of lettuce plants for different irrigation strategies. International Scientific Journals. Obtenido de: https://stumejournals.com/journals/am/2020/5/177

• Google Arts & Culture. (s.f.). Da Vinci, ingeniero hidráulico y "maestrodel água" Recuperado de

<https://artsandculture.google.com/story/NQUBwOcqhaTHJA?hl=es>

Artistas y Cuadros. (s.f.). Mecanismo para riego y distribución de agua (Leonardo da Vinci). Recuperado de

https://artistasycuadros.com/leonardo-da-vinci/mecanismo-para-riego-y-distribucion-de-agua/

• Câmara de comercio de bogota.(2015).Manual Lechuga. Biblioteca Digital CCB. Obtenido de: http://hdl.handle.net/11520/14316

•Ortiz,B.Bolivar,J.Sinchi,G.Carlos,J.(2022). Propuesta de un manual de diseño, estandarización y fabricación de turbinas tipo tornillo de Arquímedes para pequeñas centrales hidroeléctricas. Universidad politecnica salesiana del ecuador. Obtenido de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2405>

1. Universidad Católica de Colombia Bogotá D.C Colombia Contacto: dcovalle72 @ucatolica.edu.co [↑](#footnote-ref-1)
2. 2. Universidad Católica de Colombia Bogotá D.C Colombia Contacto: daosuna96@ucatolica.edu.co [↑](#footnote-ref-2)
3. Universidad Católica de Colombia Bogotá D.C Colombia Contacto: dcovalle72 @ucatolica.edu.co [↑](#footnote-ref-3)
4. 2. Universidad Católica de Colombia Bogotá D.C Colombia Contacto: daosuna96@ucatolica.edu.co [↑](#footnote-ref-4)