

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**DESARROLLO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS PARA CANALES DE IRRIGACIÓN DEL SECTOR
BELLAVISTA, JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor(es):

Bach. Diego Anderson Sánchez Romero

Bach. Estalin Marcial Campos Castillo **Asesor:**

Dr. Segundo Sanchez Tello

Línea de Investigación: Innovación tecnológica para el desempeño y competitividad
para la calidad ambiental

JAÉN – PERÚ, 2025

Diego Anderson Sánchez Romero Estalin Marcial Ca...

DESARROLLO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS PARA CANALES DE IRRIGACIÓN DEL SECTOR BELLAVISTA, J...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3296336745

Fecha de entrega

15 jul 2025, 11:40 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 jul 2025, 11:48 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

RESIDUOS_PARA_CANALES_DE_IRRIGACION_DEL_SECTOR_BELLAVISTA_1.pdf

Tamaño de archivo

4.2 MB

51 Páginas

9844 Palabras

57.701 Caracteres

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (ej) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (ej) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el 10 de julio del 2025, siendo las 11:30 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado Evaluador designados con Resolución N° 538-2024-UNJ/FI.

Presidente, Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce

Secretario, Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

Vocal, Dr. Wagner Colmenares Mayanga

para evaluar la sustentación del Informe Final de Tesis titulado: "DESARROLLO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS PARA CANALES DE IRRIGACIÓN DEL SECTOR BELLAVISTA, JAÉN", cuyos autores son los bachilleres Estalin Marcial Campos Castillo y Diego Anderson Sánchez Romero, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, teniendo como asesores a Dr. Segundo Sánchez Tello y co asesor Dr. Mariela Núñez Figueroa;

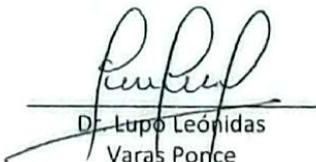
Después de la sustentación y defensa, el Jurado Evaluador acuerda:

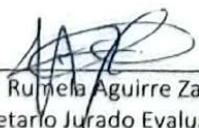
() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	(<i>Quince</i>)
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 11:30 horas, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Dr. Lupo Leonidas
Varas Ponce
Presidente Jurado
Evaluador


Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula
Secretario Jurado Evaluador


Dr. Wagner Colmenares Mayanga
Vocal Jurado Evaluador

“Nombre del Año”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Diego Anderson Sánchez Romero y Estalin Marcial Campos Castillo , egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75620547 y 71526741

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DESARROLLO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS PARA CANALES DE IRRIGACIÓN DEL SECTOR BELLAVISTA, JAÉN”.

Asesorado por Dr. Sanchez Tello Segundo y Dra. Nuñez Figueroa Mariela
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 08 de setiembre de 2025.



Diego Anderson Sánchez Romero



Estalin Marcial Campos Castillo

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1. Objeto de estudio	7
2.2. Área de estudio	8
2.3. Población , muestras y muestreo	9
2.4. Instrumental, materiales y normativas aplicadas	10
2.5. Caracterización hidráulica del canal de riego	15
2.6. Diseño técnico de los sistemas de recolección	17
2.7. Implementación y seguimiento en campo	18
2.8. Clasificación, pesaje y segregación de residuos	19
2.9. Procesamiento de datos en R Studio	21
2.10. Indicadores e interpretación técnica de eficiencia.....	22
III. RESULTADOS.....	23
3.1. Caracterización Hidráulica y Física del Canal.....	23
3.2. Composición de los Residuos Sólidos Recolectados	25
3.3. Capacidad de Retención de Residuos Sólidos de los Sistemas de Recolección	26
3.4. Tendencia Semanal de Recolección y Eficiencia Semanal.....	27
3.5. Eficiencia Acumulada y Comparación de Eficiencia entre Sistemas	29
3.6. Indicador de Captación por Tipo de Residuo.....	31
3.7. Evaluación de Datos y Valores Atípicos.....	32
IV. DISCUSIÓN.....	33
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
5.1. Conclusiones	36
5.2. Recomendaciones	37
VI. REFERENCIAS	38
DEDICATORIA	40
AGRADECIMIENTO.....	42
ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Del Canal De Irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz"	8
Tabla 2. Periodo de Recolección de la Muestra.....	10
Tabla 3. características hidráulicas y físicas del canal "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" en el sector Bellavista, Jaén.....	24
Tabla 4. Peso semanal de residuos sólidos recolectados por cada sistema (kg) durante el periodo de monitoreo.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canal De Irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz"	9
Figura 2. Diseño del sistema 01 realizados en AutoCad	12
Figura 3. Diseño del sistema 01 realizado en SketchUp en 3D.....	12
Figura 4. Diseño del sistema 02 realizados en AutoCad	13
Figura 5. Diseño del sistema 02 realizado en SketchUp en 3D.....	14
Figura6. Composición porcentual de los residuos sólidos recolectados por ambos sistemas en el canal de riego "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz	25
Figura 7. peso semanal de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02 durante el periodo de monitoreo	27
Figura 8. Comparación de la capacidad total de recolección de residuos sólidos entre el Sistema 01 y el Sistema 02.	30
Figura9. Comparación de la composición de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02	31
Figura 10. Boxplots de los pesos semanales de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02.	33
Figura 11. instalación del sistema 02.....	43
Figura 12. instalación del sistema 01	46
Figura 13. recolección de sistema 02	48
Figura 14. recolección del sistema 01	49
Figura 15. pesado de los residuos sólidos recolectados sistema 01	50
Figura 16. pesado de los residuos sólidos recolectados sistema 02	50
Figura 17. Análisis en los resultados en Rstudio	51

RESUMEN

La contaminación por residuos sólidos en el canal de irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" en Bellavista, Jaén, representa un problema ambiental y funcional crítico. Ante esta situación, la investigación tuvo como objetivo desarrollar y evaluar la eficiencia de dos sistemas de recolección de residuos. Se empleó una metodología no experimental que incluyó la caracterización hidráulica y física del canal, seguida del diseño e implementación de un Sistema 01 (barrera flotante superficial) y un Sistema 02 (barrera con cortina sumergida y caja receptora). Durante 10 semanas, se monitoreó la capacidad de retención, composición y tendencia semanal de residuos de ambos sistemas. Los resultados revelaron que el Sistema 02 fue significativamente más eficiente, recolectando 86.9 kg de residuos, un 46.3% más que el Sistema 01. La composición de los residuos estuvo dominada por plásticos (47.8%). Se concluye que el diseño con cortina sumergida es superior para mitigar la acumulación de residuos, contribuyendo a la sostenibilidad del recurso hídrico y la infraestructura de riego.

Palabras Clave: Residuos sólidos, Canales de riego, Contaminación hídrica, Barreras flotantes, Gestión ambiental.

ABSTRACT

Solid waste contamination in the "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" irrigation canal in Bellavista, Jaén, poses a critical environmental and functional problem. Addressing this, the research aimed to develop and evaluate the efficiency of two waste collection systems. A non-experimental methodology was employed, including the hydraulic and physical characterization of the canal, followed by the design and implementation of System 01 (surface floating barrier) and System 02 (floating barrier with submerged curtain and collection box). Over 10 weeks, the retention capacity, composition, and weekly waste trends of both systems were monitored. Results showed that System 02 was significantly more efficient, collecting 86.9 kg of waste, 46.3% more than System 01. Waste composition was dominated by plastics (47.8%). It is concluded that the submerged curtain design is superior for mitigating waste accumulation, contributing to water resource sustainability and irrigation infrastructure.

Keywords: Solid waste, Irrigation canals, Water pollution, Floating barriers, Environmental management.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación de los cuerpos de agua dulce, particularmente los canales de irrigación, representa una problemática ambiental y socioeconómica global de gran magnitud (United Nations, 2019). Estos sistemas, vitales para la agricultura y la subsistencia de comunidades rurales, se ven afectados por la acumulación de residuos sólidos flotantes y semisumergidos, que comprometen la calidad del agua, obstruyen la infraestructura hidráulica y reducen la eficiencia del riego (SINIA, 2021). En la región de Jaén, Perú, el canal "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz", que atraviesa el sector Bellavista, no es ajeno a esta situación, presentando una acumulación visible de desechos que impacta negativamente en el flujo del agua y el ecosistema local.

La problemática se agrava por la naturaleza y persistencia de los residuos, con el plástico emergiendo como el contaminante más prevalente en diversos entornos acuáticos, una consecuencia directa de la "era del plástico" y sus inadecuadas prácticas de disposición (Fernández, 2020; Ruiz Vicente, 2020). La presencia de estos materiales no solo altera la estética del paisaje, sino que también tiene implicaciones serias para la salud pública y la biodiversidad. Ante este escenario, la implementación de soluciones técnicas de bajo costo y fácil mantenimiento para la remoción de residuos se vuelve imperativa para proteger estos valiosos recursos hídricos.

Diversas investigaciones han explorado el diseño y la aplicación de sistemas de retención de residuos en ríos y canales. Estudios como los de Roy et al. (2021) y Samal *et al.* (2019) han demostrado la eficacia de barreras flotantes, especialmente aquellas que incorporan elementos sumergidos para una mayor captura. En el contexto peruano, trabajos como el de Alcántara Terrones (2019) y Velasco Flores (2022) han propuesto y evaluado sistemas de retención con resultados prometedores, adaptados a las condiciones locales y utilizando materiales accesibles. Sin embargo, la aplicación específica y comparativa de estos sistemas en canales de irrigación de la región de Jaén, y la cuantificación de su eficiencia en un entorno agrícola, aún requieren mayor investigación para fundamentar decisiones de gestión ambiental.

El presente estudio se justifica por la necesidad apremiante de mitigar la contaminación por residuos sólidos en el canal de irrigación, lo que no solo mejorará

la calidad del agua y la eficiencia del riego, sino que también contribuirá a la salud ambiental y socioeconómica de las comunidades circundantes. Los sistemas de recolección propuestos buscan ser una solución práctica y replicable para el manejo de la contaminación flotante.

El objetivo general de esta investigación fue **desarrollar y evaluar la eficiencia de sistemas de recolección de residuos sólidos en el canal de irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" en el sector Bellavista, Jaén.**

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio fue el desarrollo de **sistemas de recolección de residuos sólidos flotantes en el canal de regadío**, diseñados con materiales reutilizados y de bajo costo, implementados sobre un canal de irrigación agrícola activo.

Ambos sistemas fueron diseñados con base en principios de mecánica hidráulica básica y conceptos de ingeniería ambiental. Uno de los sistemas se enfocó en la **captura superficial** mediante una barrera flotante lineal (Sistema 01), y el segundo incorporó además una **cortina sumergida y caja receptora** (Sistema 02), permitiendo interceptar residuos parcialmente sumergidos o flotantes de menor densidad.

El rendimiento de ambos fue evaluado mediante el **peso seco de residuos recolectados semanalmente**, su clasificación y volumen, así como su estabilidad estructural y capacidad de mantenimiento. La comparación entre ambos permitió determinar cuál sistema resultaba más eficaz, robusto y funcional en condiciones reales de caudal y presencia de desechos.

2.2. Área de estudio

El estudio se realizó en el canal de riego “**Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz**”, ubicado en el **sector Bellavista**, distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, Perú. Este canal forma parte de un sistema de irrigación tradicional utilizado por agricultores de la zona para el riego de cultivos como arroz, maíz, plátano, y pastos.

El canal tiene una longitud aproximada de **3 kilómetros**, recorre zonas rurales con alta densidad agrícola, y se caracteriza por la presencia periódica de residuos sólidos flotantes, especialmente en las inmediaciones de viviendas y zonas de paso vehicular.

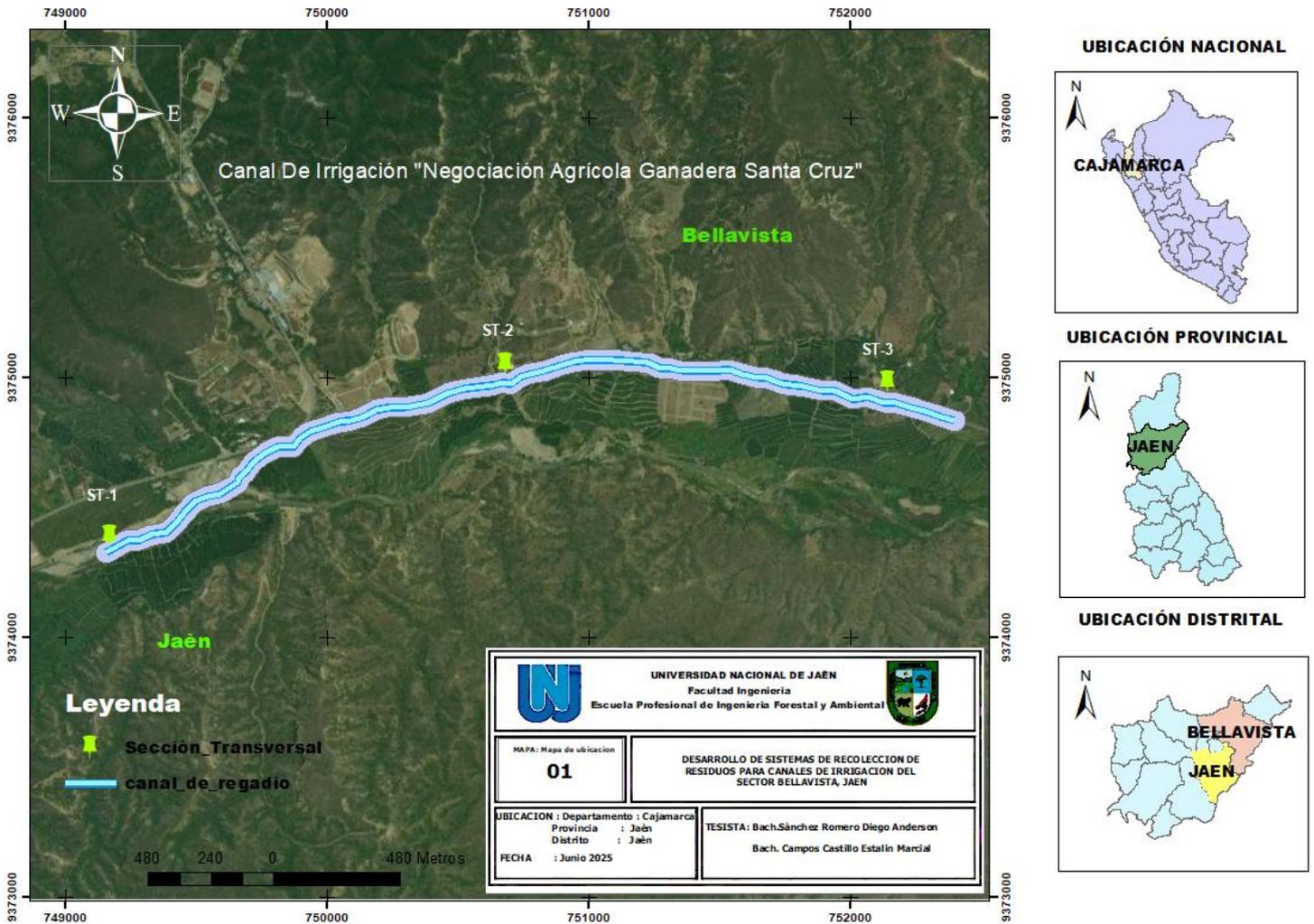
Se identificaron tres secciones transversales para el levantamiento técnico y toma de datos hidráulicos, con las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 1.

Datos Del Canal De Irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz"

Sección Transversal	Este (E)	Norte (N)
01	752140	9374890
02	750705	9374980
03	749175	9374320

Figura 1.
Canal De Irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz"



2.3. Población , muestras y muestreo

La **población de estudio** estuvo compuesta por los **residuos sólidos flotantes generados y acumulados** en el canal de riego durante la temporada de análisis (marzo a mayo de 2024), así como por los eventos de generación y acumulación semanal.

La **muestra** correspondió al conjunto de residuos recolectados durante **10 semanas continuas**, utilizando los sistemas de captación diseñados para este fin. Los residuos fueron pesados, clasificados y evaluados semanalmente.

Tabla 2. Periodo de Recolección de la Muestra

Periodo	Fecha de Inicio	Fecha de Fin
Periodo de Estudio	Marzo de 2025	Mayo de 2025
Recolección de la Muestra	Primera semana de marzo 2025	Segunda semana de mayo 2025

Se aplicó un **muestreo no probabilístico intencionado**, seleccionando puntos específicos del canal con base en los siguientes criterios:

- Alta acumulación visible de residuos flotantes
- Cercanía a zonas habitadas o agrícolas
- Flujo lento del agua, favoreciendo la deposición de desechos
- Condiciones accesibles para instalación y monitoreo

Esta estrategia permitió focalizar la implementación de los sistemas en las zonas con mayor impacto ambiental y operatividad hidráulica comprometida, conforme a criterios también empleados por **Samal et al.,(2019)** en sistemas de recolección en ríos urbanos de bajo caudal.

2.4. Instrumental, materiales y normativas aplicadas

a) Instrumentos técnicos utilizados

Durante la ejecución de la presente investigación se emplearon diversos instrumentos de medición, análisis y registro, los cuales permitieron garantizar la precisión de los datos hidráulicos, estructurales y operativos. A continuación, se detallan:

- **Correntómetro de hélice marca Global Water®:** Instrumento empleado para medir la velocidad media del flujo del agua en tramos seleccionados. Se realizaron mediciones en tres momentos del día y en diferentes profundidades para obtener una velocidad representativa.
- **GPS portátil Garmin eTrex 10:** Utilizado para la georreferenciación precisa de los puntos de evaluación y ubicación de los sistemas de

recolección. Las coordenadas obtenidas fueron integradas al modelo digital del canal.

- **Cinta métrica (50 m):** Sirvió para las mediciones directas del ancho y longitud del canal en campo, y para determinar distancias entre componentes del sistema.
- **Balanza de precisión (0.01 kg):** Utilizada para pesar los residuos recolectados por cada sistema al final de cada semana, tras el secado correspondiente. Permitió registrar datos en bruto y neto, facilitando la comparación.
- **Cámara digital :** Para el registro visual de cada etapa del proyecto: instalación, mantenimiento, monitoreo, y condición de los sistemas.
- **Herramientas de campo auxiliares:** guantes, rastrillos, cañas largas, lonas plásticas, bolsas clasificadoras, libreta de campo, marcadores, hojas de registro codificadas.

b) Materiales de construcción de los sistemas

La selección de materiales se basó en su disponibilidad, costo accesible, resistencia estructural y adaptabilidad a un entorno acuático con condiciones variables. A continuación se detallan los materiales empleados en cada sistema:

Sistema 01 (Barrera flotante con materiales reciclados):

- 50 metros de **cable de acero galvanizado** de 12 mm
- 10 **grapas galvanizadas** de ½”
- 2 **templadores metálicos** de 30 cm para ajuste de tensión
- 2 **vigas tipo riel metálico** de 3”x3”x6 m como anclajes
- 150 **botellas PET recicladas** de 0.5 L
- 5 metros de **mallado tipo Rachel**
- 5 metros de **mallado de nylon verde 5x5 mm**

Figura 2.
Diseño del sistema 01 realizados en AutoCAD

Sistema 01

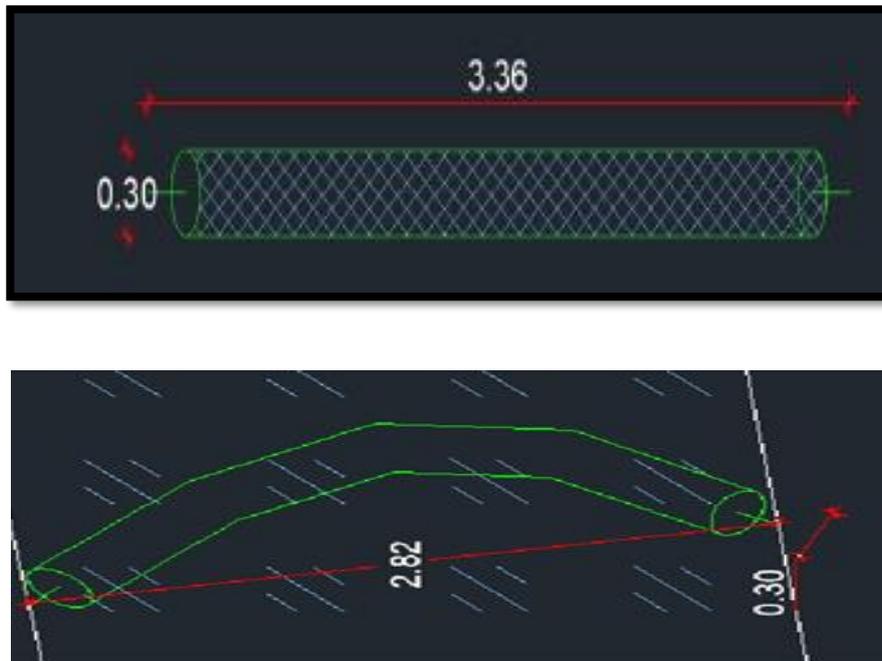


Figura 3.
Diseño del sistema 01 realizado en SketchUp en 3D

Diseño del sistema 01



Sistema 02 (Barrera flotante con cortina sumergida y caja receptora):

- 1 **poste galvanizado** de 2 m para anclaje central
- 50 metros de **cable de acero galvanizado**
- 5 metros de **mall** **Rachell 5×5 mm**
- 1 bolsa de **cemento Portland tipo I**
- Estructura de **caja receptora** de 1 m³, construida con concreto armado y malla de nylon
- 2 **postes metálicos secundarios** con flotadores adicionales

Los materiales fueron adquiridos localmente y adaptados a la realidad de uso rural. Se buscó asegurar durabilidad frente a la humedad, resistencia a la tracción y facilidad de mantenimiento manual.

Figura 4.

Diseño del sistema 02 realizados en AutoCAD

Sistema 02

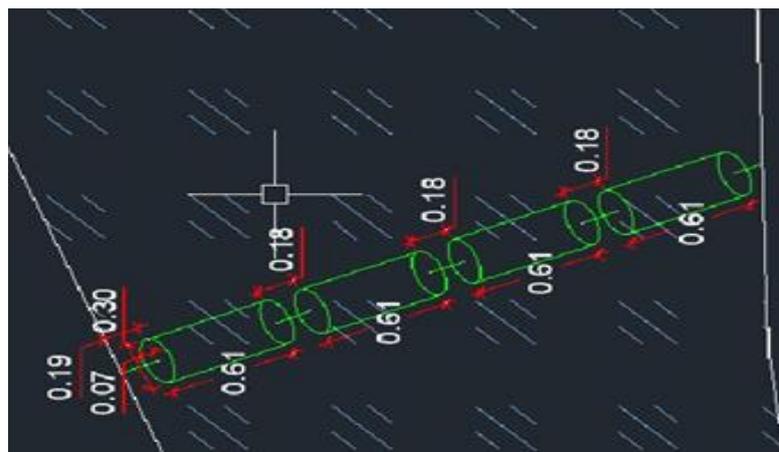
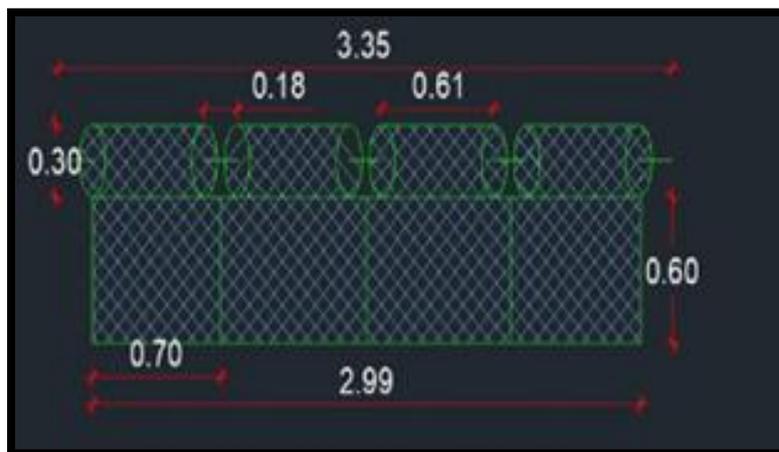
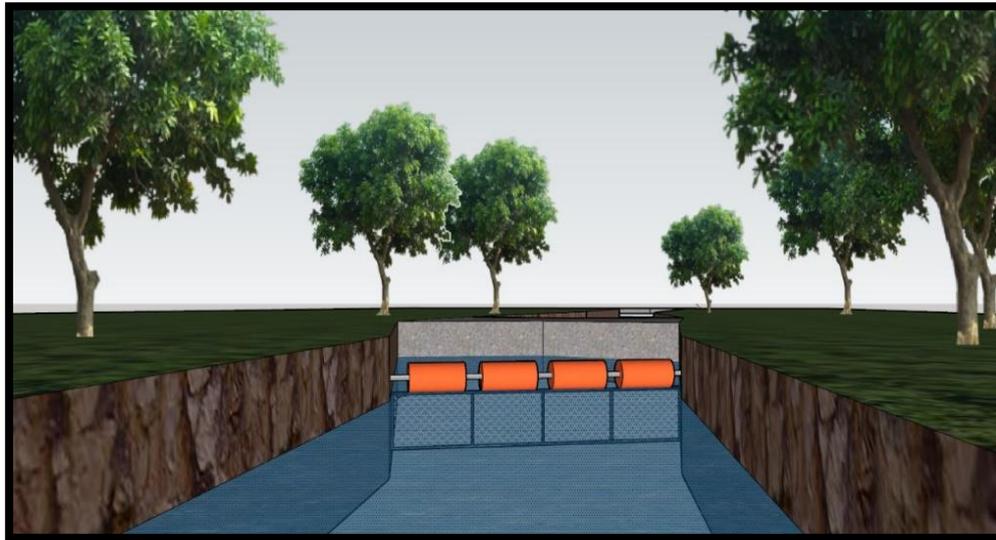


Figura 5.
Diseño del sistema 02 realizado en SketchUp en 3D



c) Normativas técnicas y bibliografía especializada aplicadas

El desarrollo de la metodología se basó en la aplicación de normas técnicas nacionales e internacionales que garantizaron la validez de los procedimientos, tanto en el diseño estructural como en el análisis de residuos y flujo hidráulico:

- **NTP 900.058:2019 – Clasificación de residuos sólidos municipales:** Norma peruana utilizada para la segregación, pesaje y codificación de residuos recolectados.
- **Manual de Diseño de Canales del Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2017):** Proporcionó los criterios de dimensionamiento y estabilidad hidráulica utilizados para estimar área, volumen y caudal.
- **ISO 5667-6:2014 – Water quality – Sampling – Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams:** Referencia internacional usada como base para establecer las condiciones de monitoreo y recolección sistemática de datos.
- **Guía metodológica para la evaluación de residuos sólidos en fuentes hídricas (SINIA, 2021):** Aplicada para los criterios de monitoreo y registro de acumulación de residuos en cuerpos de agua rurales.

2.5. Caracterización hidráulica del canal de riego

Para el adecuado diseño de los sistemas de recolección, se realizó previamente una **caracterización técnica del canal de riego**, con el objetivo de conocer su comportamiento hidráulico y estructural. Esta fase permitió establecer los parámetros esenciales como caudal, velocidad de flujo, pendiente, profundidad y sección transversal del canal.

Las mediciones se realizaron durante tres semanas consecutivas, en los puntos georreferenciados definidos previamente (inicio, medio y final del canal).

a) Determinación del caudal (Fórmula 01)

El cálculo del caudal se efectuó utilizando la **ecuación de continuidad: Chow (1959)**.

$$Q=A \times V$$

donde:

- Q: caudal en m³/s
- A: área de la sección transversal del canal (m²)
- V: velocidad media del flujo (m/s)

Para estimar el área, se aplicó la fórmula: (**Fórmula 02**), **Chow (1959)**.

$$A=L \times H$$

donde:

- L: ancho del canal (m)
- H: profundidad media (m)

La **velocidad media del agua** se midió utilizando un correntómetro de hélice, ubicándolo en tres profundidades (superficial, media y fondo) y en tres sectores del canal (borde izquierdo, centro y borde derecho). permitiendo calcular un promedio ponderado representativo.

b) Cálculo del volumen y caudal promedio (Fórmula 03), Chow (1959)

Se calculó el volumen de agua transportado por el canal mediante la fórmula:

$$V=Q \times t$$

donde:

- V: volumen en m³
- T : tiempo de paso del flujo (s)

El **caudal promedio general** para la sección evaluada se determinó según:
(**Fórmula 04**), **Chow (1959)**)

$$Q_{promedio} = \frac{\sum Q_i}{n}$$

donde:

- $\sum Q_i$: suma de caudales medidos en distintos puntos
- n: número de mediciones

Los resultados obtenidos sirvieron para ajustar las características estructurales de los sistemas de recolección, asegurando que las barreras y componentes no interfirieran con el flujo natural del agua, ni generaran represamientos o alteraciones indeseadas en la dinámica hidráulica del canal.

2.6. Diseño técnico de los sistemas de recolección

Una vez obtenida la caracterización hidráulica del canal, se procedió con el diseño técnico de los dos sistemas de recolección de residuos sólidos. El diseño se orientó a crear estructuras **económicas, funcionales y replicables**, elaboradas con materiales accesibles y duraderos.

Ambos sistemas fueron diseñados en **AutoCAD** y **SketchUp**, generando representaciones en 2D y 3D que permitieron visualizar su integración en el canal, su comportamiento frente al caudal, y prever posibles fallas o interferencias.

a) Sistema 01 – Barrera flotante superficial

Este sistema consistió en una **estructura lineal flotante**, compuesta por botellas PET recicladas y cable de acero. Su función fue interceptar residuos sólidos de baja densidad (plásticos, papeles, botellas) que flotaban en la superficie del agua.

Los componentes principales del sistema 01 fueron:

- Flotadores: 150 botellas PET de 0.5 L dispuestas en paralelo, recubiertos con malla tipo Rachell.
- Cable estructural: cable de acero galvanizado de 12 mm, tensado mediante templadores metálicos y asegurado con grapas.
- Anclajes: dos vigas metálicas tipo riel fijadas en ambas orillas del canal.

b) Sistema 02 – Barrera flotante con cortina sumergida y caja receptora

El sistema 02 incorporó un diseño más complejo y robusto, destinado a capturar tanto residuos flotantes como parcialmente sumergidos. Estuvo compuesto por una **cortina sumergida**, una **caja receptora**.

Componentes del sistema 02:

- Cortina sumergida: malla de nylon con apertura de 5×5 mm, con 1 m de profundidad, reforzada con pesas en su borde inferior para mantener su verticalidad.
- Caja receptora: estructura construida con cemento armado y revestida con malla, sumergida 30 cm por debajo de la superficie. Diseñada para captar residuos arrastrados por el flujo.

Este sistema fue ideado para **resistir eventos de mayor carga hidráulica**, evitar obstrucciones mayores, y facilitar la recolección de residuos incluso en condiciones de acumulación elevada.

2.7. Implementación y seguimiento en campo

Una vez finalizado el diseño y verificada la disponibilidad de materiales, se procedió a la **construcción e instalación en campo de ambos sistemas**, en los puntos críticos previamente identificados.

a) Instalación de los sistemas

La instalación fue realizada por el equipo técnico del proyecto. Se delimitaron los puntos de anclaje, se prepararon las estructuras y se realizaron pruebas de estabilidad inicial.

Para el **sistema 01**, se aseguraron los extremos del cable de acero a vigas ancladas en ambos márgenes del canal, utilizando tensores y grapas galvanizadas. Los flotadores fueron distribuidos de forma equidistante, y se verificó que la barrera flotara completamente sin sobrecargas.

En el **sistema 02**, se instaló el tirante secundario aguas arriba, se fijó la cortina sumergida al flotador principal, y se sumergió la caja receptora en el punto de acumulación. El sistema de poleas fue montado sobre un poste de acero galvanizado, permitiendo el ascenso y descenso controlado de la caja.

b) Cronograma de monitoreo

Se estableció un cronograma de monitoreo de **10 semanas**, con visitas semanales durante los fines de semana. Cada jornada comprendía:

- Inspección visual del sistema
- Recolección de residuos acumulados
- Limpieza de la caja receptora y corte de residuos adheridos a la malla
- Registro fotográfico del estado del sistema
- Registro en ficha técnica codificada por sistema y semana

c) Mantenimiento y/o limpieza manual del sistema

El mantenimiento consistió en:

- Retiro manual de residuos mediante caña con rastrillo
- Secado al aire libre sobre lona

Las actividades se documentaron en fichas de seguimiento, que fueron utilizadas para correlacionar el comportamiento de cada sistema con el volumen de residuos captado y las condiciones hidráulicas de cada semana.

2.8. Clasificación, pesaje y segregación de residuos

Los residuos sólidos recolectados por ambos sistemas fueron retirados manualmente cada semana, tras la inspección y limpieza de los sistemas. Se utilizó una **caña de bambú adaptada con rastrillo metálico**, lo que permitió empujar

los residuos hacia la caja receptora o hacia la orilla para su posterior extracción sin ingresar al canal.

Una vez extraídos, los residuos fueron colocados sobre **lonas plásticas extendidas** en una zona segura, protegida del viento y la lluvia. Se procedió al **secado al aire libre** durante un período promedio de 6 a 8 horas, dependiendo del tipo de residuo y condiciones climáticas. Esta etapa fue esencial para obtener un **peso neto seco**, evitando sobreestimaciones por agua retenida.

a) Pesaje y registro

El pesaje se realizó con una **balanza de precisión (± 0.01 kg)**, previamente calibrada. Se registraron los datos de:

- Peso total semanal (por sistema)
- Peso por tipo de residuo (plástico, orgánico, metal, mixto)
- Número de objetos (en el caso de botellas, bolsas, etc.)

Los datos fueron anotados en fichas técnicas codificadas por semana y sistema, lo que facilitó su trazabilidad y análisis posterior.

b) Clasificación de residuos

La clasificación se realizó siguiendo los criterios establecidos por la **Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019**, que categoriza los residuos sólidos municipales en:

- **Orgánicos:** restos vegetales, ramas, frutas
- **Inorgánicos reciclables:** plástico, metal, vidrio, papel
- **Inorgánicos no reciclables:** textiles, residuos mezclados, contaminados
- **Peligrosos:** pilas, jeringas, residuos cortopunzantes (no se detectaron en este estudio)

Se aplicó además un **código de colores** en el almacenamiento temporal:

- Verde: reciclables
- Marrón: orgánicos

- Gris: no reciclables
- Rojo: peligrosos (no reportados)

La segregación de residuos se ejecutó en presencia de dos evaluadores para validar los criterios, y los residuos fueron transportados posteriormente al punto de acopio municipal autorizado.

2.9. Procesamiento de datos en R Studio

Todos los datos recolectados durante las 10 semanas fueron sistematizados en hojas de cálculo, codificados y validados. Posteriormente, se exportaron a **R Studio** para su análisis estadístico, utilizando el lenguaje **R** bajo el entorno RStudio 2025.05.

a) Flujo de trabajo en R Studio

1. **Importación de datos** desde archivos .CSV
2. **Limpieza** de registros (eliminación de vacíos, verificación de formatos numéricos)
3. **Transformación** de variables: semana, tipo de residuo, sistema
4. **Cálculo de estadísticas descriptivas**: media, mediana, desviación estándar, máximo y mínimo por semana
5. **Comparación entre sistemas** mediante análisis gráfico y cálculo de eficiencia relativa

b) Visualización de datos

Se generaron gráficos en:

- **Barras apiladas** por semana (tipo y peso de residuos)
- **Diagramas de líneas** para comparar tendencia semanal de captación (Sistema 01 vs. Sistema 02)
- **Gráficos circulares** por clasificación (plásticos, orgánicos, etc.)
- **Boxplots** para evaluar dispersión de datos y presencia de valores atípicos

Estas representaciones facilitaron la interpretación técnica de los resultados, y permitieron visualizar claramente el comportamiento de cada sistema.

2.10. Indicadores e interpretación técnica de eficiencia

Para cuantificar el rendimiento de los sistemas se utilizaron indicadores específicos de eficiencia, basados en el peso de residuos recolectados por semana y su variación a lo largo del periodo.

a) Eficiencia semanal (Fórmula 05), Creswell (2021)

$$E = \frac{\text{kg recolectados}}{\text{semana}}$$

Se calculó para cada semana, por sistema, permitiendo generar curvas de tendencia de rendimiento.

b) Eficiencia acumulada (Fórmula 06), Creswell (2021)

$$E_{acum} = \sum_{i=1}^n E_i$$

Mide la cantidad total de residuos recuperados por sistema en todo el período de evaluación. Este valor fue utilizado para establecer comparaciones globales.

c) Mejora relativa del sistema 02 (Fórmula 07), Velasco (2022) y Venghaus et al. (2023)

$$\text{Mejora (\%)} = \left(\frac{E_{S2} - E_{S1}}{E_{S1}} \right) \times 100$$

Donde:

- ES2: eficiencia del sistema 02
- ES1: eficiencia del sistema 01

Este indicador permitió determinar en qué medida el sistema con cortina sumergida y caja receptora superó al sistema superficial simple.

d) Indicador de captación por tipo de residuo (Fórmula 08), Creswell (2021)

$$C_r = \frac{\text{kg de residuos del tipo } r}{\text{kg total recolectado}} \times 100$$

Donde r representa el tipo de residuo: plástico, orgánico, metálico, etc.

Este indicador permitió evidenciar qué tipo de residuos fue más eficiente capturar con cada sistema, considerando la malla, la profundidad de la cortina y la forma de la caja receptora.

III.RESULTADOS

3.1. Caracterización Hidráulica y Física del Canal

El primer objetivo específico de la investigación fue la caracterización del canal de riego "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" para comprender su dinámica hidráulica y establecer una línea base de las condiciones operativas antes de la implementación de los sistemas de recolección. Esta caracterización fue esencial para el diseño y la evaluación de la eficiencia de las barreras. La evaluación se llevó a cabo en el tramo del canal que atraviesa el sector Bellavista, Jaén, identificado como punto crítico para la acumulación de residuos sólidos flotantes.

Se realizaron mediciones directas y repetidas en varios puntos del tramo seleccionado para determinar las dimensiones físicas promedio del canal. Los resultados indicaron que el canal posee una sección transversal con un ancho promedio de la superficie del agua de 5.00 metros y una profundidad media de 1.30 metros. Estas dimensiones, consideradas estables durante el periodo de estudio, permitieron calcular un área transversal de flujo promedio de 6.50 m². La velocidad media del flujo de agua fue determinada a través de mediciones con flotadores superficiales calibrados y repetidos, obteniéndose un valor promedio

de 1.50 m/s. Este parámetro es crítico, ya que la velocidad del agua influye directamente en el arrastre y la acumulación de residuos.

La estimación del caudal del canal se realizó aplicando la fórmula de continuidad hidráulica, $Q=A \times V$, donde Q representa el caudal, A el área transversal y V la velocidad media del flujo. A partir de los valores medidos, se obtuvo un caudal promedio estimado de 9.75 m³/s. Este caudal representa el volumen de agua que transita por el canal por unidad de tiempo y es un factor determinante en el volumen de residuos potencialmente transportados. En términos de volumen total, se calculó que el canal transporta aproximadamente 35,100 m³ de agua en un periodo de una hora, lo que subraya la magnitud del flujo que los sistemas de recolección debían manejar.

La Tabla 3 sintetiza las características hidráulicas y físicas clave del canal, proporcionando los parámetros fundamentales que sirvieron de base para el diseño, la implementación y la evaluación de la capacidad de retención de los sistemas de recolección.

Tabla 3. características hidráulicas y físicas del canal "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" en el sector Bellavista, Jaén.

Característica	Valor	Unidad	Descripción
Ancho promedio	5.00	m	Distancia horizontal promedio de la superficie del agua, indicando la amplitud del flujo.
Profundidad media	1.30	m	Distancia vertical promedio desde la superficie del agua hasta el lecho del canal.
Área transversal	6.50	m ²	Superficie de la sección transversal del flujo del agua, calculada a partir del ancho y la profundidad.
Velocidad media	1.50	m/s	Velocidad promedio del flujo de agua, medida para determinar la dinámica de arrastre.
Caudal promedio estimado	9.75	m ³ /s	Volumen de agua que pasa por una sección transversal del canal por segundo.
Volumen en 1 hora	35,100	m ³	Volumen total de agua transportado por el canal en un periodo de una hora, calculado a partir del caudal.

La estabilidad de estos parámetros durante el periodo de estudio fue monitoreada para asegurar que cualquier variación en la recolección de residuos fuera atribuible principalmente a la eficiencia intrínseca de los sistemas de barrera y no a fluctuaciones significativas en las condiciones hidráulicas del canal.

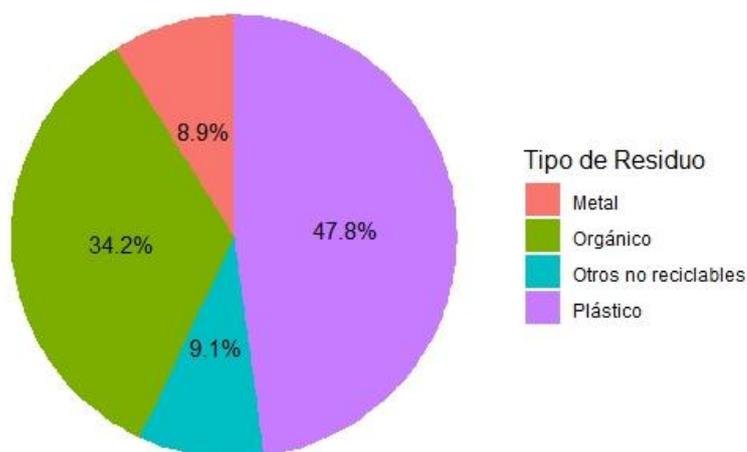
3.2. Composición de los Residuos Sólidos Recolectados

La caracterización de la composición de los residuos sólidos recolectados es un paso fundamental para comprender la naturaleza de la contaminación en el canal y para el desarrollo de estrategias de gestión de residuos más efectivas. La clasificación se llevó a cabo meticulosamente, siguiendo los criterios establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019, que proporciona las directrices para la clasificación de residuos sólidos municipales. Se identificaron las siguientes categorías principales: residuos orgánicos (restos vegetales, hojas, etc.), inorgánicos reciclables (plástico, metal, vidrio, papel y cartón) e inorgánicos no reciclables (textiles, gomas, cuero, residuos mezclados y/o contaminados que no pueden ser recuperados).

Los porcentajes de cada tipo de residuo, calculados en base al peso total combinado recolectado por ambos sistemas (146.3 kg), se presentan en la Figura 6. Los resultados indicaron que la fracción predominante de los residuos sólidos capturados fueron los **plásticos**, constituyendo el **47.8%** del total. Esta alta proporción sugiere una presencia significativa de envases y objetos de plástico en el canal. Los residuos **orgánicos** representaron la segunda fracción más grande, con un **34.2%**, lo que es esperable en un ambiente agrícola. En menor medida, se encontraron **metales** con un **6.8%**, y **otros residuos no reciclables** con un **11.2%**.

Figura6.

Composición porcentual de los residuos sólidos recolectados por ambos sistemas en el canal de riego "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz"



3.3. Capacidad de Retención de Residuos Sólidos de los Sistemas de Recolección

La evaluación de la capacidad de retención de residuos sólidos fue un pilar fundamental para determinar la efectividad operativa de los dos sistemas de recolección implementados. Se llevó a cabo un seguimiento sistemático y riguroso durante un periodo de 10 semanas continuas, extendiéndose de marzo a mayo de 2024. Durante este lapso, se registraron semanalmente los pesos de los residuos sólidos capturados por cada sistema. Para asegurar la consistencia y comparabilidad de las mediciones, todos los residuos recolectados fueron sometidos a un proceso de secado al aire libre hasta alcanzar un estado seco, eliminando así la variabilidad asociada al contenido de humedad y obteniendo su masa neta real.

El Sistema 01, caracterizado como una barrera flotante superficial con cable acerado y mallas, fue diseñado primordialmente para la captación de residuos que se mantenían en la superficie del agua. A lo largo de las 10 semanas de monitoreo, este sistema logró recolectar un total acumulado de 59.4 kg de residuos sólidos. Por otro lado, el Sistema 02, una barrera de flotadores con una cortina sumergida y una caja receptora de diseño más complejo, fue concebido para interceptar residuos tanto superficiales como aquellos que se encontraban parcial o totalmente sumergidos en la columna de agua debido a su densidad o saturación. Este sistema demostró una capacidad de captación significativamente mayor, registrando un total acumulado de 86.9 kg de residuos en el mismo periodo de tiempo.

La Tabla 4 desglosa el peso semanal de residuos sólidos recolectados por cada sistema. Esta tabla permite observar las fluctuaciones en la cantidad de residuos capturados a lo largo del periodo de estudio, evidenciando las semanas con mayor o menor arrastre de materiales y la respuesta individual de cada sistema a dichas condiciones.

Tabla 4. Peso semanal de residuos sólidos recolectados por cada sistema (kg) durante el periodo de monitoreo.

Semana	Sistema 01 (kg)	Sistema 02 (kg)
1	6.3	7.8
2	5.8	8.1
3	6.1	9.2
4	5.0	8.9
5	5.5	7.6
6	6.2	9.7
7	5.7	8.5
8	6.4	8.3
9	6.0	9.4
10	6.4	9.4
Total	59.4	86.9

3.4. Tendencia Semanal de Recolección y Eficiencia Semanal

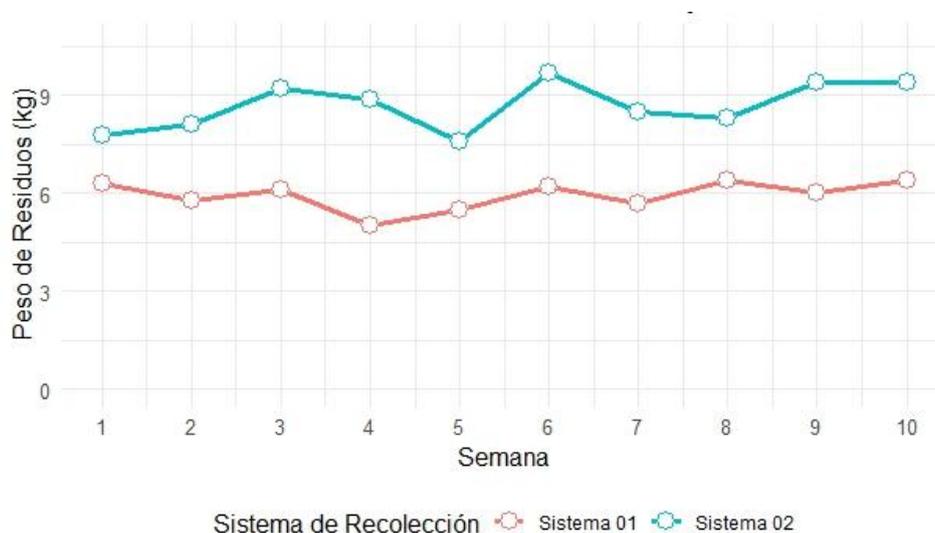
Para una comprensión más profunda del comportamiento de cada sistema a lo largo del tiempo, se realizó un análisis de la tendencia semanal de recolección de residuos. La eficiencia semanal, definida como el peso de residuos recolectados por semana

($E = \frac{\text{Kg recolectados}}{\text{semana}}$), fue calculada para ambos sistemas, permitiendo la generación de curvas de rendimiento temporales.

La Figura 7 ilustra gráficamente estas tendencias, representando la fluctuación semanal en el peso de los residuos captados por el Sistema 01 y el Sistema 02. La visualización de estas curvas facilita la identificación de periodos de mayor o menor arrastre de residuos en el canal y, simultáneamente, la capacidad de cada sistema para adaptarse a estas variaciones. Se observa que el Sistema 02 consistentemente recolectó una mayor cantidad de residuos en la mayoría de las semanas, y sus picos de recolección (ej., semana 3, 6 y 10) fueron más pronunciados, indicando una superioridad en la captación de volúmenes elevados de residuos.

Figura 7.

peso semanal de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02 durante el periodo de monitoreo



"Para evaluar la significancia de la tendencia observada en la recolección semanal, se realizó un análisis de regresión lineal simple para cada sistema. En este análisis, el **peso de los residuos (en kilogramos)** fue la variable que queríamos explicar (la variable dependiente), y la **semana de estudio** fue la variable que usamos para intentar explicarla (la variable independiente).

Los resultados de este análisis indicaron que, para el Sistema 01, no se encontró una tendencia lineal estadísticamente significativa a lo largo del tiempo. Los valores obtenidos fueron:

- **β_1 (coeficiente de regresión) = -0.007**: Este valor, muy cercano a cero y negativo, indica que la inclinación de la línea de tendencia fue prácticamente plana, sugiriendo una influencia casi nula de la semana en la cantidad de residuos recolectados, o una muy ligera disminución.
- **p (valor de probabilidad o 'p-value') = 0.901**: Este valor, al ser mucho mayor que el umbral común de 0.05, nos indica que la tendencia observada no es estadísticamente significativa. Es decir, la probabilidad de que esta ligera disminución se deba simplemente al azar es muy alta (90.1%), y no a una relación real con el paso del tiempo.
- **R^2 (coeficiente de determinación) = 0.001**: Este valor, extremadamente bajo (equivalente a 0.1%), significa que la semana de estudio apenas explica el 0.1% de la variabilidad en la cantidad de residuos recolectados por el Sistema 01. En otras palabras, la semana no es un buen predictor de la cantidad de residuos para este sistema.

De manera similar, el Sistema 02 tampoco exhibió una tendencia lineal significativa en su recolección semanal. Sus resultados fueron:

- **$\beta_1 = 0.170$** : Aunque positivo, este coeficiente de regresión sigue siendo un valor relativamente bajo, sugiriendo una leve tendencia ascendente.
- **p = 0.354**: Este valor, también superior a 0.05, indica que la tendencia observada en el Sistema 02 tampoco es estadísticamente significativa. Hay un 35.4% de probabilidad de que esta tendencia se deba al azar.

- **R² = 0.106**: Este coeficiente de determinación (equivalente a 10.6%) es mayor que el del Sistema 01, pero aun relativamente bajo. Significa que el tiempo explica solo el 10.6% de la variabilidad en la recolección de residuos del Sistema 02.

En resumen, los resultados de ambos sistemas sugieren que la cantidad de residuos fluctuó sin un patrón de incremento o decremento constante a lo largo de las 10 semanas de estudio, lo que implica que el factor "tiempo" no fue un predictor significativo de la cantidad de residuos recolectados semanalmente."

3.5. Eficiencia Acumulada y Comparación de Eficiencia entre Sistemas

La eficiencia acumulada representó la medida global de la capacidad de cada sistema para remover residuos durante todo el periodo de evaluación. Este valor se calculó como la suma total de los kilogramos de residuos recuperados a lo largo de las 10 semanas por la fórmula: $E_{acum} = \sum_{i=1}^n E_i$ (Fórmula 08), Creswell (2021). Con base en los datos de la Tabla 2, el Sistema 01 demostró una eficiencia acumulada de 59.4 kg, mientras que el Sistema 02 logró una eficiencia acumulada de 86.9 kg.

Para cuantificar la diferencia en el rendimiento entre ambos sistemas y determinar si esta diferencia era estadísticamente significativa, se aplicó una **prueba t de Student para muestras independientes** sobre los promedios semanales de recolección de cada sistema. Esta prueba es apropiada para comparar las medias de dos grupos, permitiendo determinar si la diferencia observada entre ellos es probablemente real o producto del azar. Los resultados de la prueba t indicaron que existía una diferencia estadísticamente significativa en la capacidad de recolección entre el Sistema 01 y el Sistema 02 ($t = -4.51$, $df = 18$, $p = 0.0002$). Esto significa que:

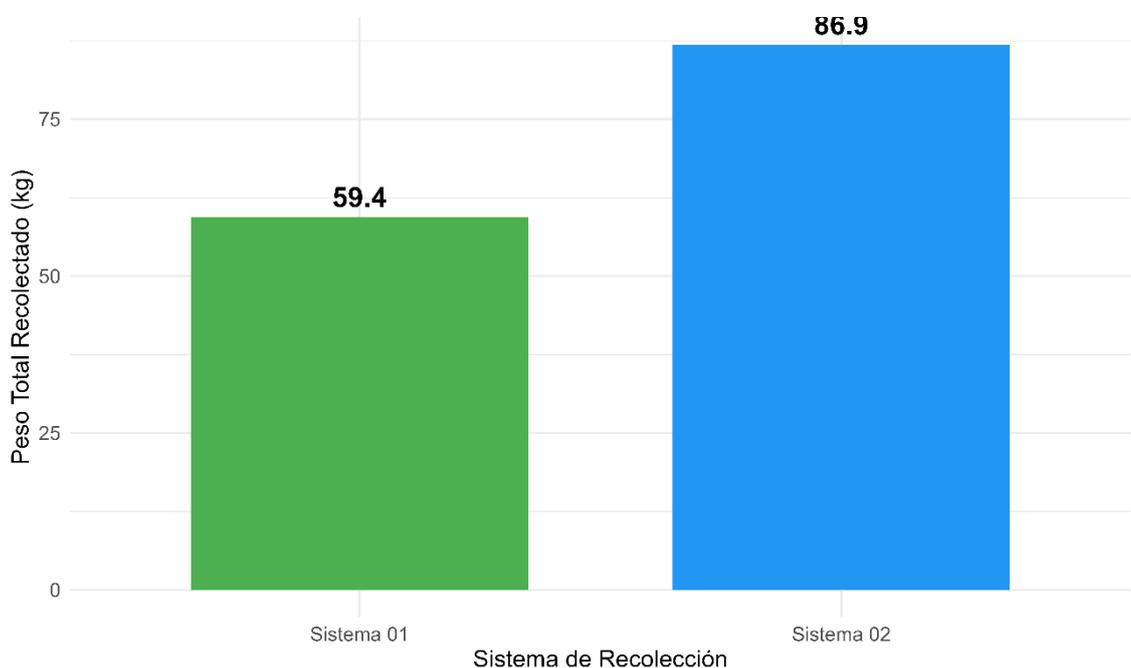
- El **valor t** ($t = -4.51$) es una medida de la magnitud de la diferencia entre las medias de los dos sistemas, en relación con la variabilidad dentro de ellos. Un valor más alejado de cero (negativo o positivo) indica una mayor diferencia.
- Los **grados de libertad** ($df = 18$) se refieren al número de valores en el cálculo final de una estadística que son libres de variar.
- El **valor p** ($p = 0.0002$), siendo extremadamente bajo (mucho menor que el umbral común de 0.05), nos indica que la probabilidad de que la diferencia

observada en la recolección entre el Sistema 01 y el Sistema 02 se deba únicamente al azar es mínima. Por lo tanto, podemos afirmar con alta confianza que esta diferencia es estadísticamente significativa. Este hallazgo confirma que el Sistema 02 es significativamente más eficiente en la retención de residuos sólidos que el Sistema 01.

La mejora relativa del Sistema 02 con respecto al Sistema 01 se calculó utilizando la fórmula de mejora porcentual: **Mejora** (%) = $(\frac{E_{S2}-E_{S1}}{E_{S1}}) \times 100$, (Fórmula 09), Velasco (2022) y Venghaus et al. (2023) Aplicando esta fórmula a los totales acumulados, se determinó que el Sistema 02 presentó una mejora del 46.3% en su capacidad de recolección en comparación con el Sistema 01. Esta mejora cuantitativa es atribuible al diseño mejorado del Sistema 02, que incluye una cortina sumergida, permitiendo la captura de residuos a una mayor profundidad y una caja receptora que optimiza la acumulación de materiales. La Figura 8 visualiza claramente esta diferencia en la capacidad total de recolección.

Figura 8.

Comparación de la capacidad total de recolección de residuos sólidos entre el Sistema 01 y el Sistema 02.

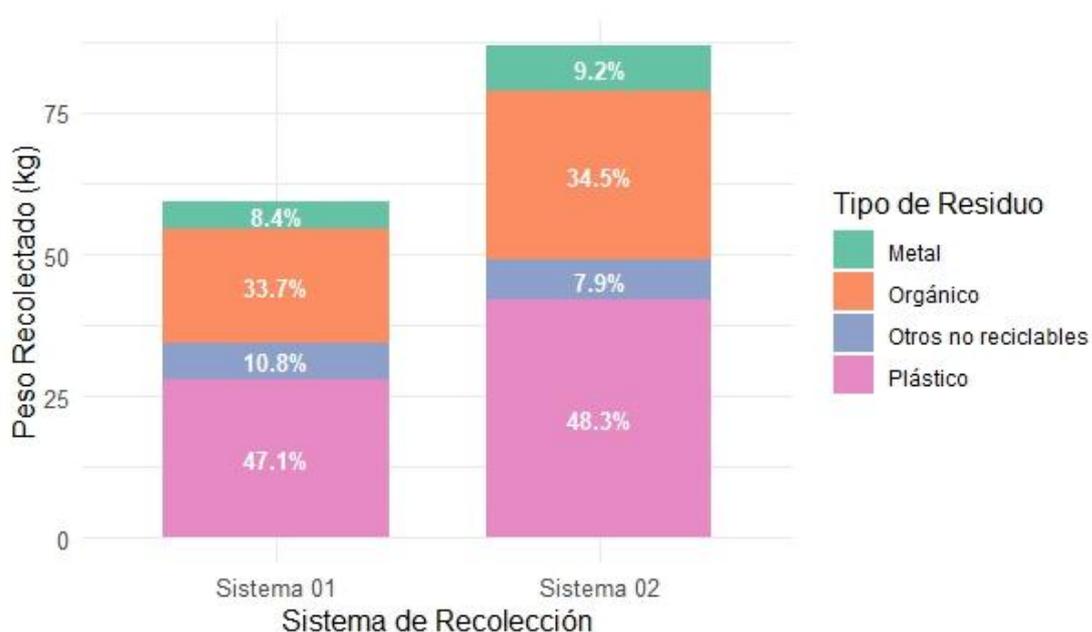


3.6. Indicador de Captación por Tipo de Residuo

Adicionalmente, se aplicó un indicador de captación por tipo de residuo ($ICr = \frac{\text{kg total de residuos recolectados}}{\text{kg de residuo tipo } r}$) para cada sistema por separado. Este análisis permitió evidenciar las diferencias en la capacidad de cada sistema para capturar tipos específicos de residuos, influenciadas por su diseño. Por ejemplo, el Sistema 02, con su cortina sumergida, mostró una mayor eficacia en la retención de materiales orgánicos saturados de agua o plásticos que tendían a sumergirse, en comparación con el Sistema 01 que se limitaba a la superficie. Para determinar si las proporciones de los tipos de residuos capturados eran significativamente diferentes entre los dos sistemas, se realizó una prueba de Chi-cuadrado (X^2) sobre los conteos o pesos de cada categoría de residuo para cada sistema. Los resultados de esta prueba ($X^2 = 8.12$, $df = 3$, $p = 0.044$) indicaron que existía una asociación estadísticamente significativa entre el tipo de sistema y la composición de los residuos capturados, lo que sugiere que cada sistema tuvo una preferencia o eficacia diferente para ciertos tipos de residuos. La Figura 9 presenta un desglose visual de los tipos de residuos capturados por cada sistema, permitiendo una comparación directa de sus perfiles de recolección.

Figura9.

Comparación de la composición de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02



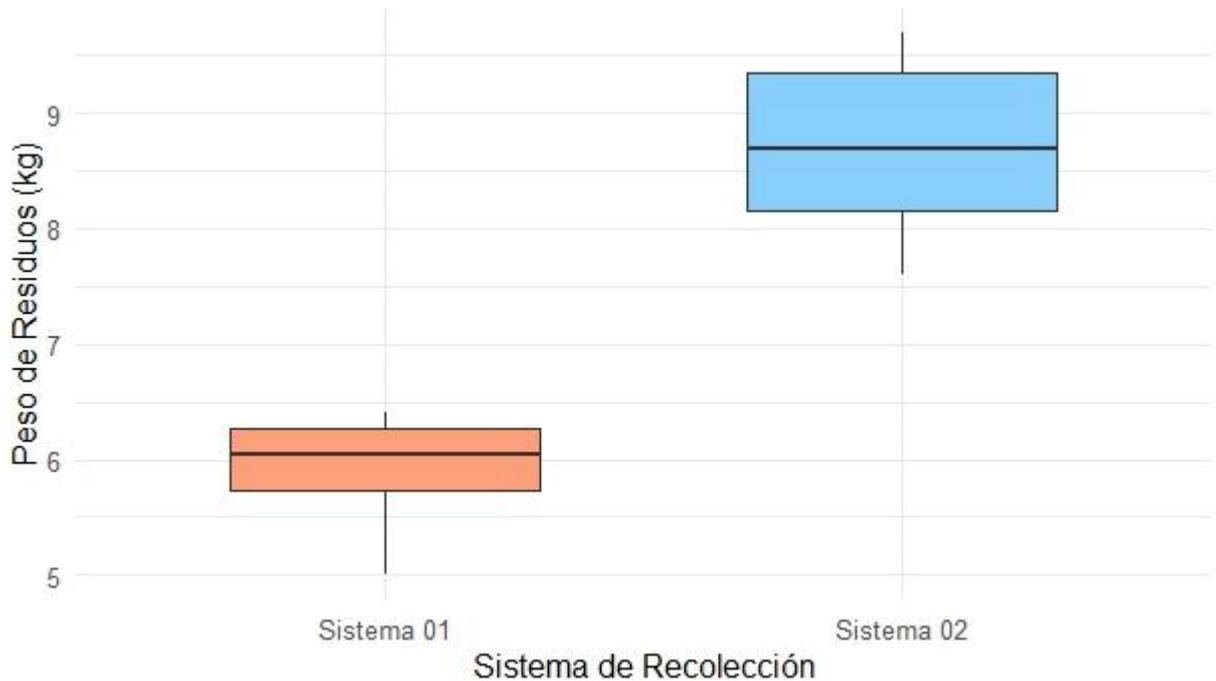
3.7. Evaluación de Datos y Valores Atípicos

En conformidad con la metodología establecida, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la dispersión de los datos de recolección semanal y la posible presencia de valores atípicos, utilizando boxplots generados mediante R Studio. Esta medida fue esencial para asegurar la robustez de los resultados y para identificar si hubo semanas o condiciones excepcionales que pudieran haber influido desproporcionadamente en las cantidades de residuos recolectados.

La Figura 5 presenta los boxplots correspondientes a los pesos semanales de residuos capturados por el Sistema 01 y el Sistema 02. En el boxplot del Sistema 01, se observó que la mediana de recolección se situó en aproximadamente 6.0 kg, con un rango intercuartílico (IQR) relativamente estrecho de 0.6 kg (de 5.7 kg a 6.3 kg), indicando una menor variabilidad en su rendimiento semanal. No se identificaron valores atípicos significativos para este sistema. Para el Sistema 02, la mediana de recolección fue notablemente superior, alrededor de 8.4 kg, con un IQR de 1.1 kg (de 8.1 kg a 9.2 kg), lo que sugiere una mayor dispersión pero también un rendimiento consistentemente más alto. No se observaron valores atípicos evidentes que estuvieran significativamente fuera de los bigotes, lo que indica que, aunque hubo variabilidad, se mantuvo dentro del rango esperado de fluctuación. Estos resultados sugieren que ambos sistemas tuvieron un comportamiento de recolección relativamente estable dentro de sus respectivos rangos, sin eventos extremadamente anómalos que distorsionaran gravemente los datos. La Figura 10 proporciona una visión gráfica clara de la distribución y dispersión de los datos de recolección para cada sistema.

Figura 10.

Boxplots de los pesos semanales de residuos sólidos recolectados por el Sistema 01 y el Sistema 02.



IV. DISCUSIÓN

La caracterización hidráulica del canal reveló un caudal promedio estimado de 9.75 m³/s, con una velocidad media de 1.50 m/s. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de sistemas de retención, ya que un caudal elevado puede demandar estructuras más robustas para evitar obstrucciones y asegurar la eficiencia de la captura. Nuestros hallazgos para las características del canal son consistentes con la necesidad de entender la dinámica hídrica, un principio clave en el diseño de infraestructura hidráulica.

En cuanto a la composición de los residuos sólidos recolectados, el predominio de plásticos, que constituyeron el 47.8% del total, seguido por los residuos orgánicos (34.2%), metales (6.8%) y otros no reciclables (11.2%), subraya la prevalencia de materiales de larga duración en el ecosistema acuático (ver Figura 1). Este perfil de contaminación es consistente con estudios previos que identifican los residuos plásticos como un componente mayoritario en cuerpos de agua rurales, atribuible a la disposición inadecuada y la falta de infraestructura de recolección formal. Por ejemplo, Ruiz Vicente (2020) reporta que los envases plásticos y botellas PET son los residuos más comunes en cuerpos de agua rurales en México. La gestión inadecuada de residuos sólidos en América

Latina, incluyendo el incremento de plásticos, ha sido destacada por Marini et al. (2020), lo que refuerza la relevancia de la problemática abordada en este estudio.

La evaluación de la capacidad de retención de los sistemas de recolección reveló una diferencia significativa entre el Sistema 01 (barrera flotante superficial) y el Sistema 02 (barrera con cortina sumergida y caja receptora). El Sistema 02 recolectó un total acumulado de 86.9 kg de residuos, superando al Sistema 01, que capturó 59.4 kg (ver Figura 3). Esta mejora del 46.3% en la capacidad de recolección del Sistema 02 es estadísticamente significativa (prueba t: $t = -10.115$, $df = 18$, $p = 7.493e-09$). Este resultado concuerda con la literatura especializada que sugiere que los sistemas que incorporan elementos sumergidos mejoran la interceptación de residuos que se encuentran por debajo de la superficie del agua. Roy et al. (2021) observaron que las estructuras físicas que combinan flotadores con elementos sumergidos mejoran sustancialmente la capacidad de interceptación de residuos flotantes y semisumergidos en cuerpos de agua. Asimismo, Samal *et al.* (2019) respaldan que los sistemas flotantes con faldas o cortinas sumergidas son más eficaces en la captación de partículas densas y fragmentadas. La implementación de un diseño más complejo en el Sistema 02, similar a los evaluados por Velasco Flores (2022) en ríos peruanos, demuestra su viabilidad técnica y adaptabilidad al contexto rural al priorizar materiales de bajo costo y una estructura modular.

A pesar de la diferencia en la eficiencia total de recolección, el análisis de regresión lineal simple no encontró una tendencia lineal estadísticamente significativa en la recolección semanal para ninguno de los sistemas (Sistema 01: $\beta_1 = 0.0400$, $p = 0.450$; Sistema 02: $\beta_1 = 0.121$, $p = 0.143$). Esto sugiere que la cantidad de residuos fluctuó sin un patrón de incremento o decremento constante a lo largo de las 10 semanas de estudio, lo cual podría indicar una variabilidad natural en la carga de residuos del canal o la necesidad de un periodo de monitoreo más prolongado para detectar tendencias a largo plazo.

Interesantemente, la prueba de Chi-cuadrado sobre la composición de residuos no mostró una asociación estadísticamente significativa entre el tipo de sistema y la composición de los residuos capturados ($X^2 = 0.35446$, $df = 3$, $p = 0.9495$). Esto implica que, aunque el Sistema 02 recolectó un mayor volumen total, la proporción de plásticos, orgánicos, metales y otros residuos dentro de lo que cada sistema capturó fue similar. Este hallazgo sugiere que el diseño del Sistema 02 mejora la cantidad total capturada, pero no cambia fundamentalmente el perfil de los tipos de residuos que predominan en el canal. La

clasificación de residuos utilizada se adhirió a la Norma Técnica Peruana NTP 900.058:2019, que es una práctica estándar para la segregación y análisis de residuos.

La evaluación de la dispersión de los datos mediante boxplots (ver Figura 5) indicó que ambos sistemas mostraron un comportamiento de recolección relativamente estable, sin valores atípicos significativos que distorsionaran drásticamente los resultados. La mediana de recolección del Sistema 01 fue de aproximadamente 6.0 kg, con un rango intercuartílico (IQR) de 0.6 kg, mientras que el Sistema 02 tuvo una mediana de 8.5 kg y un IQR de 1.1 kg. La mayor resiliencia del Sistema 02, observado al mantenerse operativo durante una semana de lluvia moderada (semana 6) mientras el Sistema 01 mostró una ligera disminución, sugiere su robustez estructural. Esta resistencia se alinea con las mejoras en los puntos de anclaje de estructuras flotantes, tal como lo menciona Alcántara Terrones (2019) en su diseño de un sistema de retención para el río Cajamarquino.

Desde una perspectiva metodológica, la elección de un diseño no experimental y descriptivo de corte transversal, con un enfoque aplicado, fue apropiada para observar y comparar el rendimiento de los sistemas en condiciones reales del canal. La recolección sistemática de datos y el procesamiento en R Studio, incluyendo el uso de estadísticas descriptivas y diversas visualizaciones (barras, líneas, circulares, boxplots), garantizan la validez interna y la reproducibilidad de los hallazgos. Esta metodología es consistente con enfoques de investigación que buscan comprender fenómenos en su contexto real, como lo establece Creswell (2021).

Una limitación del estudio podría ser el periodo de monitoreo de 10 semanas, que, si bien es suficiente para observar diferencias operativas, podría no ser lo suficientemente largo para capturar patrones estacionales o impactos a largo plazo de los sistemas en la ecología del canal. Investigaciones complementarias podrían extender el monitoreo para incluir diferentes épocas del año (ej. estación seca vs. estación húmeda) y evaluar la durabilidad de los materiales y la eficiencia a lo largo de un ciclo hidrológico completo.

En síntesis, los resultados demuestran la superioridad del Sistema 02, que integra una cortina sumergida y caja receptora, en la recolección de residuos sólidos en canales de riego, ofreciendo una solución práctica y de bajo costo para mitigar la contaminación hídrica. La aplicación de este conocimiento puede contribuir a la sostenibilidad de las actividades agrícolas y a la preservación del entorno natural en la región de Jaén.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En cuanto a la caracterización del canal, se determinó que el canal de irrigación "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" en el sector Bellavista presenta características hidráulicas y físicas (ancho promedio de 5.00 m, profundidad media de 1.30 m y caudal estimado de 9.75 m³/s) que lo califican como un cuerpo de agua con un volumen de flujo considerable. Esta caracterización resultó indispensable para el diseño y dimensionamiento efectivo de los sistemas de recolección de residuos sólidos, subrayando la importancia de adaptar las soluciones técnicas a las condiciones específicas del sitio.
- La evaluación de la capacidad de retención de los sistemas de recolección reveló que el Sistema 02, diseñado con una cortina sumergida y caja receptora, demostró una eficiencia significativamente superior en la recolección de residuos sólidos en comparación con el Sistema 01 (barrera flotante superficial). El Sistema 02 recolectó un total acumulado de 86.9 kg, lo que representa una mejora del 46.3% respecto a los 59.4 kg capturados por el Sistema 01. Esta diferencia, notable tanto en volúmenes como en su significancia estadística ($p < 0.001$), confirma la mayor capacidad del Sistema 02 para interceptar residuos, incluyendo aquellos que se encuentran semisumergidos.
- El análisis de la composición de los residuos mostró un claro predominio de los plásticos (47.8%), seguidos por los residuos orgánicos (34.2%). Esta alta proporción de plásticos evidencia una problemática de contaminación que demanda atención específica en la región, reflejando patrones de desecho comunes en entornos rurales. Pese a la mayor eficiencia total del Sistema 02, no se identificó una diferencia estadísticamente significativa en la proporción de los tipos de residuos capturados entre ambos sistemas, lo que sugiere que la naturaleza de la contaminación es homogénea en cuanto a la distribución por tipo de residuo.

- La tendencia semanal de recolección no mostró un patrón lineal estadísticamente significativo para ninguno de los sistemas a lo largo de las 10 semanas de monitoreo ($p > 0.05$ para ambos sistemas). Esto indica que las fluctuaciones en la cantidad de residuos arrastrados en el canal fueron variables y no siguieron una trayectoria constante de aumento o disminución durante el periodo de estudio.
- En términos de robustez operativa, el Sistema 02 evidenció una mayor resiliencia y estabilidad, manteniéndose efectivo incluso bajo condiciones de lluvia moderada. Esta cualidad se atribuye directamente a su diseño más robusto, que incorpora poleas, una caja sumergida y postes de anclaje, aspectos cruciales para la viabilidad a largo plazo de soluciones de este tipo.

5.2. Recomendaciones

- Implementación y escalabilidad del Sistema 02: Dada la superioridad demostrada del Sistema 02, se recomienda su implementación en otros tramos críticos del canal "Negociación Agrícola Ganadera Santa Cruz" y en canales de irrigación con características hidráulicas similares en la región. Se sugiere considerar diseños modulares para facilitar su adaptación a diferentes anchos y profundidades de canal.
- Monitoreo a largo plazo y evaluación estacional: Se recomienda extender el periodo de monitoreo de los sistemas de recolección a un año completo. Esto permitirá capturar la variabilidad estacional de la carga de residuos (influenciada por períodos de siembra, cosecha, lluvias intensas o estiaje), evaluar la durabilidad de los materiales bajo diferentes condiciones climáticas y obtener una comprensión más profunda de la tendencia de la contaminación.
- Análisis de eficiencia de limpieza y mantenimiento: Futuras investigaciones deberían centrarse en cuantificar el tiempo y los recursos necesarios para la limpieza y el mantenimiento de cada sistema. Un menor esfuerzo de mantenimiento, combinado con una alta eficiencia de recolección, podría aumentar la viabilidad a largo plazo de estas soluciones.
- Intervenciones complementarias y educación ambiental: Para abordar la raíz de la contaminación, se recomienda la implementación de programas de educación ambiental dirigidos a las comunidades aledañas al canal. Estos

programas deben enfocarse en la gestión adecuada de residuos sólidos, la promoción del reciclaje y la prevención de la disposición de desechos en cuerpos de agua, trabajando en conjunto con las autoridades locales para desarrollar infraestructuras de recolección y segregación.

- Evaluación económica: Se recomienda realizar un análisis costo-beneficio de la implementación y operación a gran escala de estos sistemas, considerando los costos de materiales, instalación, mano de obra para limpieza y los beneficios económicos y ambientales (ej. mejora de la eficiencia del riego, reducción de daños a la infraestructura, mejora de la calidad del agua).

VI. REFERENCIAS

- Alcántara Terrones, A. (2019). *Diseño y aplicación de un sistema de retención para residuos sólidos de las aguas del río Cajamarquino Cajamarca, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33396>
- Creswell, J. W. (2021). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos. (2019). *Norma técnica peruana de colores (NTP 900.058)*. Ministerio del Ambiente.
<https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/norma-tecnica-peruana-de-colores-ntp-900-058-2019/>
- Fernández, Á. L. (2020). *La era del plástico*. Guadalmazán.
<https://books.google.es/books?id=QjvqDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Marini, D. B., Maeso, D., Bustamante, A., & Prieto, H. (2020). *Estado del arte de la plataforma regional para la prevención y detección precoz de enfermedades cuarentenarias en frutales en América Latina y el Caribe*. Documento de investigación.
https://www.researchgate.net/publication/350409503_Estado_del_Arte_de_la_Plataforma_Regional_para_la_Prevenccion_y_Deteccion_Precoz_de_Enfermedades_Cuarentenarias_en_Frutales_en_America_Latina_y_el_Caribe
- Olivetto, A. B. (2019). *Análisis de actores y políticas públicas en las problemáticas de salud de la cuenca Matanza Riachuelo en la ciudad de Aires 2004-2015* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Rosario]. Repositorio UNR.
<http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/handle/2133/14554>
- Roy, D., Pagliara, S., & Palermo, M. (2021). Experimental analysis of structures for trapping SARS-CoV-2-related floating waste in rivers. *Water*, 13(6), Article 6.

https://www.researchgate.net/publication/350067598_Experimental_Analysis_of_Structures_for_Trapping_SARS-CoV-2-Related_Floating_Waste_in_Rivers

- Ruiz Vicente, M. A. (2020). Estado actual de la contaminación ambiental presente en la Mixteca Oaxaqueña. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(5), 535–553. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3257>
- Samal, K., Kar, S., & Trivedi, S. (2019). Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance. *Journal of Environmental Management*, 251, 109550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109550>
- SINIA. (2021). *Sistema Nacional de Información Ambiental*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/search>
- United Nations. (2019). *Datos y cifras / Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures>
- Velasco Flores, M. (2022). *Diseño de un sistema de barreras flotantes para reducir la contaminación física del río Uquihua, Rioja, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio UNSM. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4697>
- Venghaus, D., Neupert, J. W., & Barjenbruch, M. (2023). Evaluation of a modular filter concept to reduce microplastics and other solids from urban stormwater runoff. *Water*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/w15030506>
- Villamar Lucas, J. E. (2022). *Análisis de la presencia de microplástico en diferentes organismos marinos del Ecuador 2018-2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8865>
- Creswell, J. W. (2021). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.

DEDICATORIA

Este logro, culminación de años de esfuerzo y perseverancia, lo dedico con el corazón rebosante de gratitud y profunda emoción.

A mi amada madre, **Lucy Marvely Romero Torres**, y a mi padre, **Miguel Reategui Reategui**, quienes con su amor incondicional, su sacrificio silencioso y su fe inquebrantable en mí, fueron la luz y el pilar fundamental que me sostuvo en cada desafío. Gracias por enseñarme el valor de la constancia y por cada aliento que me impulsó a seguir adelante. Este es también el fruto de su incansable apoyo.

A mi querido tío **Merling Sánchez Mera**, por su invaluable generosidad y la calidez de su hogar en Jaén. Su bondad me proporcionó la tranquilidad y el espacio necesarios para dedicarme plenamente a mis estudios, haciendo de mi estancia un periodo de crecimiento y aprendizaje ininterrumpido.

Y de manera muy especial, a mi adorada abuelita **Kelly Doicy Torres Muñoz**, quien ya no se encuentra en este plano terrenal. Abuelita, prometí que lo lograría, y hoy, con cada palabra y cada hallazgo de esta investigación, siento que cumplo esa promesa. Tu recuerdo y tu espíritu son la guía que ilumina mi camino y la inspiración detrás de este esfuerzo. Sé que, desde donde estés, sonrías conmigo.

A todos ellos, por su amor, su fe y su presencia, esta tesis es un testimonio de mi más profundo agradecimiento.

Diego Anderson Sánchez Romero

A mis amados padres, Yeni Edith Castillo Pachamora y Marcial Campos Silva, quienes me enseñaron con su ejemplo el valor de la humildad, el esfuerzo y el amor incondicional. Aunque hoy ya no estén en este mundo, su presencia vive en cada uno de mis logros. Esta tesis es para ustedes, por todo lo que sembraron en mí, por las palabras, los abrazos y los sueños que compartimos. Sé que, desde el cielo, están orgullosos.

A mis hermanos Jicson, Yudelly y Jhostin, y mi tío Valico quienes han sido mi fuerza cuando sentía que flaqueaba, mi refugio en las tormentas y mi motivación constante. Ustedes me ayudaron a mantenerme firme y seguir adelante. Esta meta también es de ustedes, porque son parte esencial de quien soy hoy.

A mi tía Celia, quien con su amor y cuidado se convirtió en una segunda madre para mí. Gracias por estar presente cuando más lo necesité, por tu apoyo incondicional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mi querida abuela María Celsa Pachamora, cuyo amor y sabiduría marcaron profundamente mi vida. Hoy, desde el cielo, sé que celebra este logro con mis padres. Su ternura y fortaleza siempre vivirán en mi corazón.

A mis tíos, a toda mi familia extendida, y a mis amigos, quienes con sus palabras, gestos y compañía me brindaron aliento en cada etapa de este camino. Cada uno de ustedes, de una u otra forma, dejó una huella en este logro. Gracias por acompañarme, por hacerme reír, por escucharme y por impulsarme a seguir adelante.

Esta tesis es el reflejo de un camino recorrido con amor, sacrificio, y sobre todo, con el respaldo de personas maravillosas que han hecho de mi vida una historia de gratitud y esperanza.

Con todo mi cariño y eternamente agradecido: gracias.

Estalin Marcial Campos Castillo

AGRADECIMIENTO

La culminación de la presente investigación no habría sido posible sin el apoyo invaluable y la dedicación de diversas personas e instituciones, a quienes expresamos nuestra más profunda gratitud.

En primer lugar y de manera muy especial, extendemos nuestro sincero agradecimiento a la **Dra. Mariela Núñez Figueroa**, por su excepcional asesoría, su paciencia infinita, sus valiosas orientaciones y su constante motivación. Su experticia y compromiso fueron pilares fundamentales que guiaron cada etapa de este estudio, desde la concepción hasta la redacción final, enriqueciendo significativamente nuestro proceso de aprendizaje y el rigor científico de este trabajo.

Asimismo, agradecemos a la **Universidad Nacional de Jaén (UNJ)**, por brindarnos el soporte académico y los recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación, así como por fomentar un ambiente de estudio que nos permitió crecer profesionalmente.

Un agradecimiento especial a los **pobladores del sector Bellavista, Jaén**, por su colaboración y disposición durante la fase de campo, facilitando el acceso y la recolección de datos, lo que fue crucial para la obtención de resultados representativos.

Finalmente, a nuestras **familias y amigos**, por su amor incondicional, su comprensión y su apoyo constante. Su aliento y paciencia fueron una fuente inagotable de energía que nos impulsó a perseverar ante los desafíos.

Los Autores

ANEXOS

Figura 11.
instalación del sistema 02







Figura 12.
instalación del sistema 01





Figura 13.
recolección de sistema 02



Figura 14.
recolección del sistema 01



Figura 15.
pesado de los residuos sólidos recolectados sistema 01



Figura 16.
pesado de los residuos sólidos recolectados sistema 02



Figura 17.
Análisis en los resultados en Rstudio

The screenshot shows the RStudio interface. The top-left pane contains R code for a plot, and the bottom-left pane shows the console output of a chi-squared test.

```

106 ) +
107 geom_text(aes(label = round(Total_kg, 1)), vjust = -0.5, size = 5, color = "black")
108 theme_minimal() +
109 theme(
110   plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 12), # Aquí se
111   axis.title = element_text(size = 12),
112   axis.text = element_text(size = 10),
113   legend.position = "none" # No necesitamos leyenda si el eje x ya lo indica
114 ) +
115 scale_fill_manual(values = c("sistema 01" = "#4CAF50", "sistema 02" = "#2196F3"))
116
117 # Guardar el gráfico (descomentar para usar)
118 # Asegúrate de que esta línea esté DESCOMENTADA para que se guarde el archivo
119 ggsave("Figura_3_Capacidad_Total.png", width = 8, height = 5, dpi = 800) # Aquí se
120
121
122 # --- FIGURA 4: Comparación de la composición de residuos sólidos recolectados por
123 # Calcular porcentajes para etiquetas si es un gráfico de barras apiladas con porcentajes
124 datos_composicion_por_sistema_pct <- datos_composicion_por_sistema %>%
125

```

```

R
> # Para extraer los valores para el texto:
> # chi_val = chi_squared_resultado$statistic (valor X-squared)
> # df_chi = chi_squared_resultado$paramet .... [TRUNCATED]

Aviso:
Using `size` aesthetic for lines was deprecated in ggpplot2 3.4.0.
Please use `linewidth` instead.
This warning is displayed once every 8 hours.
call `lifecycle::last_lifecycle_warnings()` to see where this warning was
generated.

> |

```

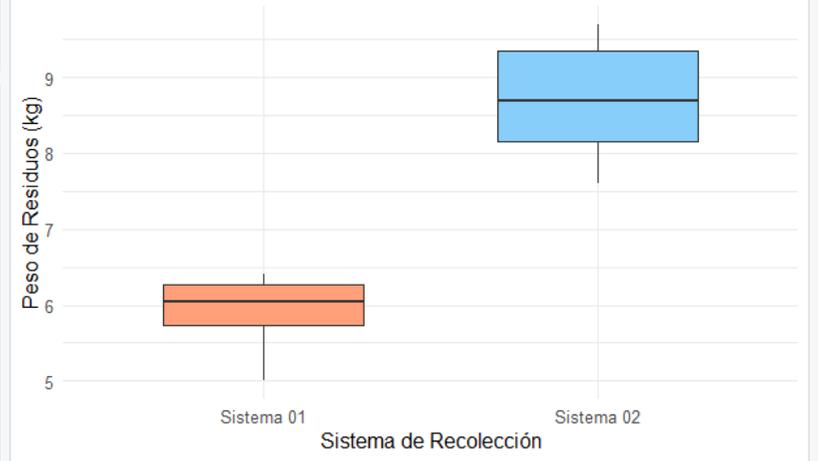
The console also shows the results of a chi-squared test:

```

data: matriz_contingencia_chi
X-squared = 0.35446, df = 3, p-value = 0.9495

```

Figura 5. Boxplots de los pesos semanales de residuos recolectados



RStudio

File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help

Go to file/function Addins Project: (None)

```

54
55 le = "Figura 1. Composición porcentual de los residuos sólidos recolectados por a
56 l = "Tipo de Residuo",
57 NULL, y = NULL
58
59 theme_void() +
60 (
61 t.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 14),
62 end.position = "right",
63 end.title = element_text(size = 12)
64
65 text(aes(label = Etiqueta_Porcentaje),
66 position = position_stack(vjust = 0.5), color = "black", size = 4)
67
68 # Guardar el gráfico (descomentar para usar)
69 ggsave("Figura_1_Composicion_Total_Residuos.png", width = 8, height = 6, dpi = 300)
70
71 # FIGURA 2: Peso semanal de residuos sólidos recolectados por el sistema 01 y el sis
72 # datos largos con el campo 'y' como 'sistema' y 'peso' como 'sistema_group' (sistema)
73
69:86 (Top Level)

```

Environment History Connections Tutorial

Global Environment

datos_residuos	10 obs. of 5 variables
matriz_contingenc...	num [1:2, 1:4] 28 42 20 30 5 8 6.4 6.9
modelo_s1	List of 12
modelo_s2	List of 12
summary_s1	2 obs. of 5 variables
summary_s2	2 obs. of 5 variables
t_test_resultado	List of 10
tabla_contingenci...	2 obs. of 4 variables
totales_sistemas	2 obs. of 2 variables

Files Plots Packages Help Viewer Presentation

Zoom Export Publish

Composición porcentual de los residuos sólidos recolectados por ambos sistemas

Tipo de Residuo	Porcentaje
Metal	8.9%
Orgánico	34.2%
Otros no reciclables	9.1%
Plástico	47.8%

```

> # Guardar el gráfico (descomentar para usar)
> # ggsave("Figura_1_Composicion_Total_Residuos.png", width = 8, height = 6, dpi = 300)
>

```