

# Prototipo de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes en un lago de agua dulce.

Prototype of floating center for the collection of polluting plastic waste in a freshwater lake.

Carlos Daniel Larrahondo-Pantoja<sup>1</sup>

carlos.larrahondo00@usc.edu.co

Karen Johana Rentería-Coime<sup>2</sup>

karen.renteria00@usc.edu.co

José Luis Cárdenas-Talero<sup>3</sup>

jose.cardenas03@usc.edu.co

Estudiante, Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica (1)

Estudiante, Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Bioingeniería (2)

Docente, Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería (3)

## **Resumen**

La creciente contaminación de cuerpos de agua dulce debido a la acumulación de residuos plásticos es un problema global cada vez más preocupante. La gestión inadecuada de estos plásticos después de su uso ha resultado en su liberación en ríos y lagos, con consecuencias ambientales y para la salud humana. Colombia, como muchos otros lugares, se enfrenta a desafíos significativos en la gestión de estos residuos. En este contexto, se presenta la adaptación de dos prototipos centro flotante (Clearbot patentado por Microsoft®) desarrollado específicamente para la recolección de residuos plásticos. El estudio se enfoca en la aplicación y eficiencia del prototipo, con el cual se realizaron pruebas en un lago de agua dulce superficial. Los prototipos demostraron su versatilidad al recolectar principalmente envolturas plásticas, sin embargo, también otros tipos de residuos, como botellas. Los resultados obtenidos sugieren que ambos prototipos tienen un gran potencial para abordar de manera efectiva la contaminación plástica en lagos. No obstante, se requiere llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender completamente sus limitaciones en la aplicación en cuanto a la operación y gasto energético. El enfoque innovador de este tipo de prototipos podría tener un impacto significativo en la reducción de la contaminación plástica en los cuerpos de agua dulce, lo que a su vez beneficiaría al ambiente y a la salud pública.

*Palabras Clave:* Contaminación, aguas superficiales, residuos plásticos, centro flotante, recursos hídricos.

## **Abstract**

The growing pollution of freshwater bodies due to the accumulation of plastic waste is an increasingly worrying global problem. Improper management of these plastics after use has resulted in their release into rivers and lakes, with environmental and human health consequences. Colombia, like many other places, faces significant challenges in managing this waste. In this context, the adaptation of two floating center prototypes (Clearbot patented by Microsoft®) developed specifically for the collection of plastic waste is presented. The study focuses on the application and efficiency of the prototype, with which tests were carried out in a surface freshwater lake. The prototypes demonstrated their versatility by collecting mainly plastic wrappers, however, also other types of waste, such as bottles. The results obtained suggest that both prototypes have great potential to effectively address plastic pollution in lakes. However, additional research is required to fully understand its application limitations in terms of operation and energy expenditure. The innovative approach of this type of prototype could have a significant impact on reducing plastic pollution in freshwater bodies, which in turn would benefit the environment and public health.

*Keywords:* Pollution, surface water, plastic waste, floating center, water sources.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha incrementado el uso de materiales de alta duración, siendo el plástico uno de los principales elementos usados, en el año 2015 se produjeron más de 370 millones de toneladas de plástico (Greenpeace, 2018). Por eso se ha presentado la dificultad para tratar dichos elementos tras cumplir con su vida útil o propósito por el cual se fabricaron, por lo que estos plásticos se desechen, casi siempre, terminando en ríos, canales, lagos y océanos. Estos residuos generan en los océanos las denominadas “islas de basura” como la que se encuentra en el océano Pacífico siendo la más grande de todas, la cual cuenta con más de 60 años de antigüedad y se extiende alrededor de 3.4 millones de kilómetros cuadrados y unas 80.000 toneladas de plástico (Valencia & Torres, 2013) provenientes de países como Japón, México, Taiwán, China, Filipinas, Canadá, Chile, Colombia, Alemania, Italia, Corea y Venezuela (Penilla & Koot, 2020); esta situación afecta a 700 especies que habitan la zona. Otras islas de basura conocidas son las del océano Índico, la del océano Atlántico norte y sur (National Geographic, 2018).

La contaminación de ríos, mares y océanos tiene graves consecuencias en la cadena alimenticia. En muchas ocasiones, la fauna marina se alimenta de residuos plásticos contaminantes, que confunden con su fuente de alimento. Lamentablemente, el consumo de pescados y mariscos contaminados conlleva un peligro para la salud humana, ya que dichos alimentos pueden provocar alergias, malestares e incluso enfermedades como el cáncer (OIEA, 2021). Otra de las grandes consecuencias de este tipo de contaminación es la muerte de la fauna marina lo que a su vez agrava el problema en la cadena alimenticia. Es por ello por lo que se deben de tomar medidas para reducir la contaminación de estas fuentes hídricas.

El 80% de la contaminación en las fuentes hídricas proviene de las actividades humanas por tierra y no de actividades marítimas. Los contaminantes son arrastrados por el agua desde las ciudades, campos y montañas hasta llegar finalmente a los océanos: cuando llueve, el agua escurre a lo largo de las carreteras y canales llevando a los ríos los residuos que se encuentran por tierra, como residuos plásticos resultantes de la actividad humana. Todos estos contaminantes terminan en el océano y viajan gracias a las corrientes marinas (Escobar, 2002).

En Colombia, los plásticos de un solo uso representan aproximadamente el 56% del consumo total de la población. Además, el país genera unos 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año y solo recicla el 17%. En el caso de Bogotá, se generan unas 7.500 toneladas al día y se reciclan entre el 14% y el 15%, incluso por debajo del promedio nacional. En Colombia el 74% de los envases va a parar a los rellenos sanitarios (Región Administrativa y de Planificación del Pacífico, 2023).

Se han desarrollado diversos métodos que contribuyen en la recolección de residuos sólidos flotantes, iniciando desde la recolección manual, hasta llegar a los sistemas automáticos implementados de los cuales se resalta el dispositivo creado por John Kellett un trabajador del puerto de Baltimore en Estados Unidos quien presentó a “Mr. Trash Wheel” (Snow, 2021) un barco de ruedas de paletas cuyo funcionamiento consiste en que el dispositivo al quedarse fijo en la orilla del muelle desprende de dos flotantes de 8m de largo cada una generando así una especie de embudo para recolectar la basura, la cual llega hasta un rastrillo (Mata et al., 2022).

Otro proyecto destacado es el Seabin liderado por investigadores australianos, el cual consiste en un cubo flotante que recolecta los residuos en los muelles (Ma et al., 2023). El Seabin V5 cuenta con un funcionamiento sencillo, el cual consiste en que el dispositivo se mueve hacia arriba y hacia abajo siguiendo el movimiento de las olas, mientras que una bomba de agua sumergible que es capaz de desplazar 25.000 litros de agua por hora succiona toda la basura flotante, la cual es almacenada en una bolsa ubicada en el centro del dispositivo (Paris et al., 2022).

Esta investigación propone la aplicación de un prototipo de un centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes aplicado a un lago de agua dulce superficial, se adaptaron dos prototipos del Clearbot patentado por Microsoft® (Open Ocean Engineering, 2022). Los sistemas se construyeron con materiales de fácil acceso y bajo costo con el objetivo que pueda ser reproducible a mayor escala y contribuir en el futuro a la recolección de residuos plásticos en los cuerpos hídricos.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este proyecto de investigación se utilizó un enfoque metodológico basado en métodos descriptivos y técnicas cuantitativas para obtener datos sobre los lineamientos necesarios para aplicar dos prototipos de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes en un lago de agua dulce superficial. Se realizó una revisión de información científica, lo que permitió obtener un mayor conocimiento para lograr abordar la problemática de una manera correcta.

El objetivo general del proyecto fue analizar un prototipo de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes con aplicación en un lago de agua dulce superficial y para ello se plantearon tres fases: i) identificación de factores, ii) construcción de dos prototipos para pruebas, iii) evaluación del funcionamiento del prototipo.

### **2.1 Fase I**

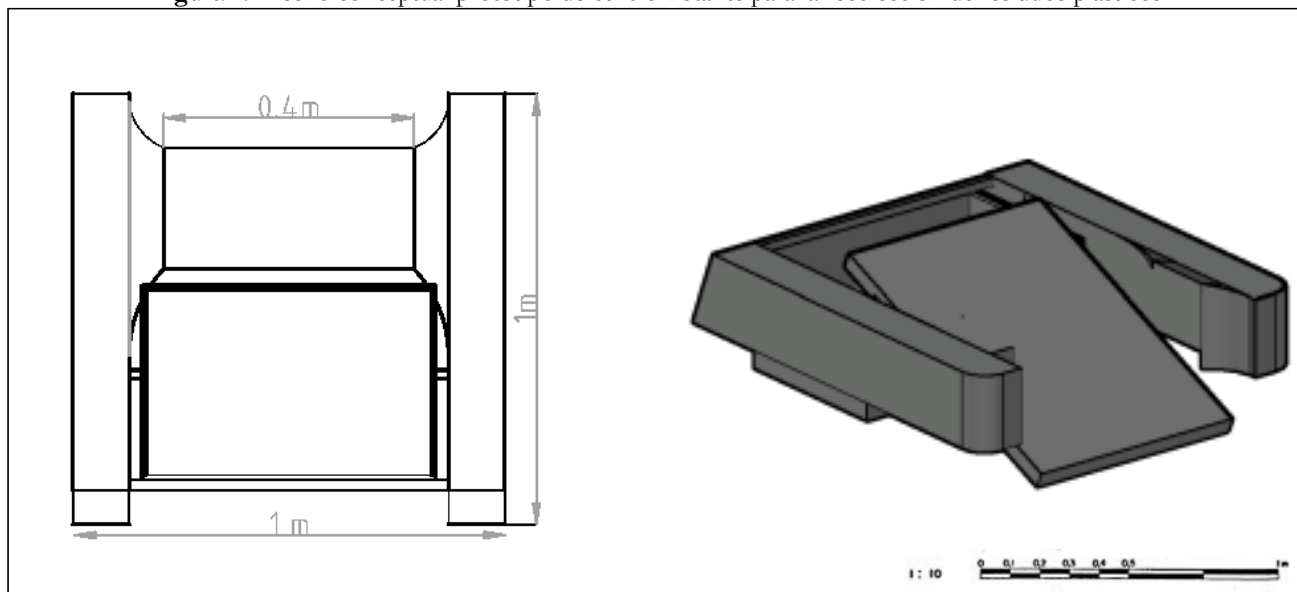
La búsqueda se realizó para identificar los principales residuos de los cuerpos hídricos, en especial los de agua dulce, además de establecer el tipo de residuo predominante. Se identificaron los factores que incidían en la recolección de residuos plásticos contaminantes en un lago de agua dulce superficial, obteniendo la clase (orgánico o inorgánicos), el peso, y el tamaño de los contaminantes más encontrados. A partir de la información anterior se identificó que algunos de estos materiales contaminantes varían en tamaño y composición, desde micro plásticos hasta fragmentos más grandes (Eriksen et al., 2014). Los micro plásticos, partículas menores a 5 mm (NOAA, 2020), han demostrado distribuirse ampliamente en fuentes hídricas, con la capacidad de transportar largas distancias por corrientes y vientos (Browne et al., 2011).

Finalmente, se estableció que el centro flotante debía lograr la recolección de residuos plásticos contaminantes hasta 0,05m de profundidad de acuerdo con lo sugerido por Van Giezen & Wiegmans, (2020).

## 2.2 Fase II

En esta fase, inicialmente se construyó un primer modelo de prototipo de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes, con base en los hallazgos de tamaño y clasificación de los residuos definidos en la fase I. Se definió el tamaño y forma para el funcionamiento del centro flotante, teniendo como base el desarrollo realizado por Microsoft®, denominado Clearbot (Open Ocean Engineering, 2022). La figura 1 muestra un esquema del modelo 2D del diseño de chasis y espacio de almacenamiento definido para el primer prototipo, en donde se definieron unas medidas de 1 m de longitud total por 1 m de ancho, con un modelo basado en dos flotadores unidos entre sí por una cinta transportadora; esto con el fin de lograr una mayor capacidad de almacenamiento y una mejor estabilidad tomando como referencia los proyectos evidenciados en la fase 1.

**Figura 1.** Diseño conceptual prototipo de centro flotante para la recolección de residuos plásticos.



Fuente: Elaboración propia

Para continuar con la construcción del prototipo se definió la medida de altura, la cual se estableció en 0,20 m en la estructura, para lograr la inclinación necesaria de la cinta transportadora. Para el ingreso de los residuos plásticos contaminantes al prototipo se definió un espacio de 0,40 m entre cada una de las bases del prototipo.

Con el diseño previamente establecido, se determinó que el prototipo operaría en una posición estática en relación con la fuente hídrica, fijado firmemente en un sitio predeterminado. Además, se incorporó una cinta transportadora en el centro del prototipo, que se extendía ligeramente hacia la parte inferior de la fuente hídrica. Se recolectaron los residuos plásticos contaminantes que se encontraron frente a él, para luego ser depositados en el espacio de almacenaje. El espacio se diseñó con un marco de madera y una malla de plástico, ubicado en la parte posterior del prototipo, este espacio de almacenamiento se dimensionó con una capacidad de  $0,3366 \text{ m}^3$ , que se logró manejando unas medidas de  $0,34 \times 0,35 \times 0,18 \text{ m}$ .

Posteriormente se procedió a la construcción de un segundo prototipo. Es esencial destacar que este segundo modelo se construyó utilizando las mismas especificaciones y materiales que el primer modelo, con las diferencias de que este segundo modelo cuenta con la incorporación de una barra estabilizadora en la parte inferior de los

dos flotadores, esta para lograr dar más firmeza al prototipo y que no recaiga la estabilidad solamente en la cinta transportadora; adicionalmente este segundo modelo conto con la incorporación de una pantalla LCD. La pantalla LCD se integró estratégicamente para mejorar la interfaz del dispositivo, ofreciendo nuevas posibilidades de interacción y visualización sobre los datos de funcionamiento. Estos cambios se integraron de manera estratégica en el diseño, sin comprometer las dimensiones y el funcionamiento del prototipo en su misión principal.

Las piezas necesarias para la construcción de los prototipos del centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes se detallan a continuación en la Tabla 1.

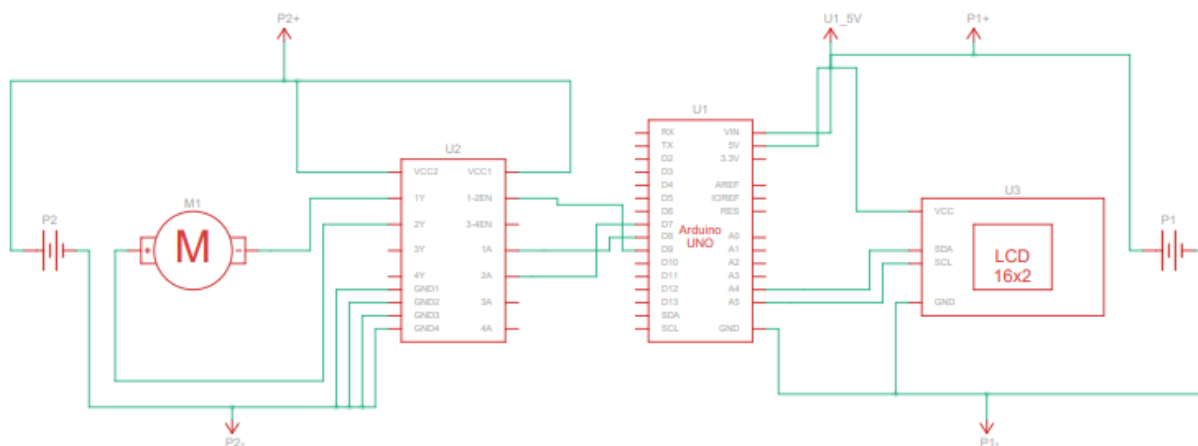
**Tabla 1.** Materiales y especificaciones de los prototipos.

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
1 motor	12v – 440 rpm
Cinta transportadora	0,37x1,34 m
ICOPOR (estructura)	2 x 2 m
Cables	2 m
Batería	9v, con capacidad de 170mAh
Malla de almacenamiento	Polietileno, 1 x 1m
Rodillo para banda	0,37 m
Madera balsa	6 varillas
Pantalla LCD (segundo prototipo)	0,08*0,36 m
Microcontrolador	Arduino uno

**Fuente:** Elaboración propia

Con relación a la estructura general o chasis, se optó por emplear el ICOPOR como material principal para los dos modelos construidos debido a su capacidad para proporcionar rigidez, flotabilidad y economía, adicionalmente se pudo crear una estructura hueca para de esa manera obtener un espacio de almacenamiento para algunos de los componentes electromecánicos. Para el funcionamiento electromecánico de los modelos de centro flotante se utilizó una cinta recolectora de polietileno con medidas de 0,37 x 1,34 m para durabilidad y se anclaron a un marco de madera y dos rodillos de 0,37 m de largo. Para impulsar el sistema de transporte de residuos, se empleó un motor eléctrico de 440 rpm alimentado por 9 VDC, voltaje obtenido de una batería de 9v ubicada al interior del chasis del prototipo.

Para el control electrónico del prototipo se definió el esquema de conexiones que se muestra en la figura 2, en donde se evidencia el uso de un microcontrolador para la gestión de la secuencia de funcionamiento, una pantalla LCD que integra un módulo de comunicación i2c para la visualización de los parámetros de tiempo, el motor encargado de mover la cinta transportadora y las dos batería que proporciona la corriente necesaria para el funcionamiento tanto del microcontrolador, y otra batería encargada de alimentar el integrado L293D encargado de la gestión de potencia hacia el motor.

**Figura 2.** Esquemático de conexión.

**Fuente:** Elaboración propia

La secuencia de funcionamiento que comparten los 2 prototipos de centro flotante para recolección de residuos plásticos contaminantes se definió en que con ayuda del microcontrolador el motor que impulsa la cinta transportadora funcionara en ciclos de 60 segundos de funcionamiento y 30 segundos de descanso, dichos tiempos se visualizan en la pantalla LCD por medio de unas cunetas regresivas ya establecidas, reduciendo así el tiempo de funcionamiento sin carga del prototipo.

Teniendo en cuenta que el motorreductor utilizado tiene un voltaje de funcionamiento de 6 a 12v, con velocidades de 80 a 160 rpm respectivamente junto con un consumo de 30mA sin carga y 90mA con carga y la batería seleccionada tiene una capacidad de 170 mAh se aplicó la fórmula de Tiempo (en horas) = Capacidad de la batería (en mAh) / Corriente del motor (en mA) para obtener un tiempo estimado de funcionamiento, logrando saber que el prototipo podría funcionar durante 1.88 horas.

### 2.3 Fase III

En esta fase se evaluó el funcionamiento de los dos modelos de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes. Se definió como área de prueba un lago de agua dulce superficial.

El primer prototipo de centro flotante se sometió a 6 pruebas con duración de 10 minutos cada una, se establece esta cantidad debido a la duración de la batería obtenida en el cálculo realizado en la fase 2, teniendo como duración del ensayo 1 hora. En dichas pruebas, se propuso recolectar residuos como envolturas y botellas plásticas, esto con el fin de obtener una cantidad de datos suficientes para comparar entre sí y poder realizar el análisis estadístico para mostrar los resultados obtenidos. En el primer bloque de tiempo se adicionó al lago material plástico, exactamente 10 botellas, 10 tapas, 10 vasos y 10 envolturas, considerando que 40 elementos en el lago para la realización de las pruebas de funcionamiento, se elige esta cantidad de elementos por la capacidad de recolección del centro flotante.

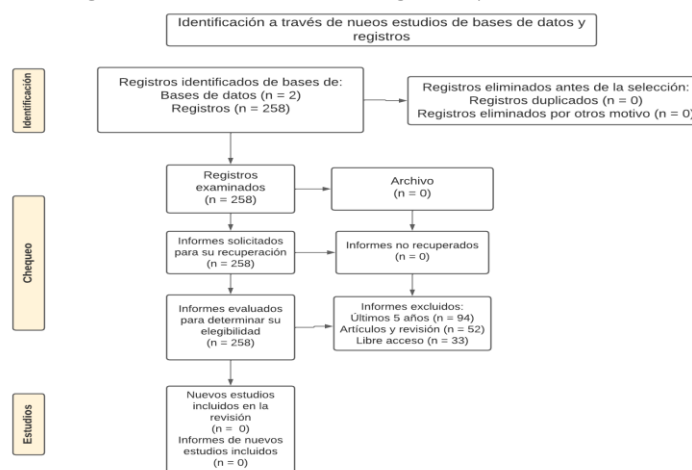
Durante las pruebas, se tuvo en cuenta la cantidad en número de residuos recolectados en un periodo de tiempo logrando así obtener los suficientes datos para realizar una comparación de cantidad vs tiempo, en cada una de las condiciones. Estas pruebas permitieron identificar la eficiencia del prototipo en cuanto a la recolección. Se tuvo en cuenta indicadores de efectividad y análisis estadístico de recolección, como la cantidad de residuos recolectados, la variedad de los residuos y el tiempo de operación hasta la recolección del primer residuo sólido contaminante.

Conforme con el segundo prototipo, este se sometió a un grupo de pruebas que se denominaron pruebas patrón ya que estas se realizaron tomando en cuenta unas cantidades máximas y mínimas. Dichas pruebas estaban comprendidas por 6 ensayos cada uno con duración de 5 minutos en los cuales se arrojaron 5 elementos de cada tipo de contaminante tratado, para obtener en el lago un total de 20 elementos solidos contaminantes. En el segundo grupo de pruebas patrón también se realizaron 6 ensayos, con la diferencia que cada ensayo tuvo una duración de 10 minutos, en los cuales se arrojaron al lago 20 elementos de cada uno de los tipos de contaminantes, para obtener un total de 80 elementos solidos contaminantes.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una revisión bibliográfica utilizando la ecuación de búsqueda "plastic collector in lake" AND "contamination of water sources" en las bases de datos SCOPUS Y WEB OF SCIENCE obteniendo 258 artículos de los cuales se seleccionaron 33, después de realizar la depuración de información (Figura 1).

**Figura 1.** Identificación de registros y bases de datos



**Fuente:** Elaboración propia, a partir de información bibliográfica.

Posteriormente, se pudo comprobar que los residuos plásticos contaminantes más comunes en los lagos de agua dulce son los elementos plásticos como botellas y envolturas de alimentos como lo muestra la Tabla 2, estos elementos cuentan con unas medidas aproximadas entre 0,05 y 0,5 m (Van Emmerik & Schwarz, 2020).

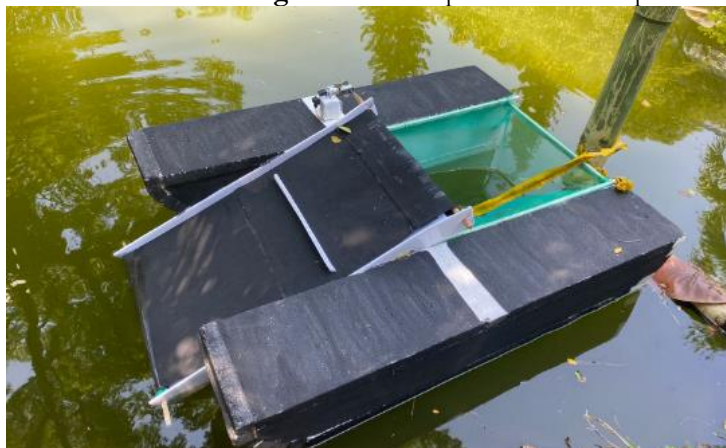
**Tabla 2.** Tipos de residuos comúnmente en cuerpo hídricos reportados.

Tipo de residuo	Referencia
Botellas y envolturas	(Van Emmerik & Schwarz, 2020)
Botellas	(Meneses, 2020)
Botellas	(Serreto & Ríos, 2016)

Respecto a las herramientas más utilizadas para la recolección de residuos sólidos contaminantes que se encuentran en las fuentes hídricas de agua dulce son la recolección voluntaria por medio de un ejercicio manual, dado que en su gran mayoría los contaminantes en las fuentes hídricas son de materiales plásticos, lo que hace que estos floten en la superficie o se sumerjan aproximadamente 0,1m lo que hace que aún sean de fácil recolección por un voluntario (Van Emmerik & Schwarz, 2020), adicionalmente se encontraron modelos de prototipos recolectores de contaminantes como lo son el System 001/B elaborado por Ocean Cleanup o el proyecto Interceptor también creado por Ocean Cleanup (Cáceres, 2021).

Posteriormente, se definió y construyó el prototipo con ayuda de la información obtenida de la revisión bibliográfica, de la cual se obtuvo el modelo guía; dicho modelo fue el Clearbot patentado por Microsoft® (Open Ocean Engineering, 2022). Con ese modelo definido se procedió con la construcción del prototipo de centro flotante para la recolección de residuos plásticos contaminantes en un lago de agua dulce superficial quedando como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Prototipo Clearbot Adaptado de Open Ocean Engineering (2022).



**Primer prototipo**  
Fuente: Elaboración propia



**Segundo prototipo**  
Fuente: Elaboración propia

El primer prototipo de centro flotante se sometió a un primer ensayo comprendido por 6 pruebas con duración de 10 minutos cada uno de ellos, en los cuales se propuso recolectar residuos como envolturas, botellas plásticas, tapas y vasos, esto con el fin de obtener una cantidad de datos suficientes para comparar entre sí y poder realizar el análisis estadístico para mostrar los resultados obtenidos, como se representa en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Datos experimentales primer ensayo - A.

Prueba	Tiempo (Min)	Cantidad inicial de residuos	Tipo de plástico recolectado				Cantidad total recolectada
			Envolturas	Botellas	Vasos	Tapas	
1	10	40	5	1	0	1	7
2	10	40	3	0	1	2	6
3	10	40	4	1	1	0	6
4	10	40	3	1	1	1	6
5	10	40	5	0	1	2	8
6	10	40	2	1	0	0	3
<b>PESO TOTAL (gr)</b>		240	58.67	10.67	10.67	16.00	96.00

Fuente: Elaboración propia.

En la fase de las pruebas de funcionamiento del primer prototipo se tuvieron en cuenta indicadores de análisis estadístico de recolección, como la cantidad de residuos recolectados, la variedad y el tiempo de operación el cual está comprendido por 60 minutos

Posteriormente, el prototipo número 2 también se sometió a dos ensayos adicionales, el primer bloque de los experimentos está comprendido por 6 pruebas con duración de 5 minutos cada uno, en los cuales se arrojaron 5 elementos de cada tipo al lago para que fueran recolectados por el segundo prototipo, obteniendo los resultados representados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Datos experimentales segundo ensayo - B.

Prueba	Tiempo (Min)	Cantidad inicial de residuos	Tipo de plástico recolectado				Cantidad total recolectada
			Envolturas	Botellas	Vasos	Tapas	
1	5	20	3	0	2	2	7
2	5	20	2	1	0	1	4
3	5	20	4	2	3	0	9
4	5	20	5	0	2	3	10
5	5	20	0	2	1	2	5
6	5	20	1	3	1	4	9
<b>PESO TOTAL (gr)</b>		120	65.19	15.54	14.54	26.00	115.00

Fuente: Elaboración propia.

El tercer experimento al que se sometió el prototipo número 2 está comprendido igualmente con 6 pruebas, con la diferencia de que la duración de cada uno de ellos fue de 10 minutos y añadiendo 20 elementos de cada tipo de contaminantes, para un total de 80 residuos. Una vez se realizó cada prueba, se obtuvieron los datos representados continuación en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Datos experimentales tercer ensayo - C.

Prueba	Tiempo (Min)	Cantidad inicial de residuos	Tipo de plástico recolectado				Cantidad total recolectada
			Envolturas	Botellas	Vasos	Tapas	
1	10	80	13	9	5	4	31
2	10	80	6	8	3	0	17
3	10	80	10	2	6	5	23
4	10	80	3	5	2	8	18
5	10	80	12	0	7	3	22
6	10	80	5	1	3	3	12
<b>PESO TOTAL (gr)</b>		480	185.57	46.62	43.62	52.00	253.00

Fuente: Elaboración propia.

Los análisis se realizaron en el software estadístico Minitab (versión demo), El ANOVA (Analysis Of Variance) o análisis de varianza es un procedimiento estadístico que permite comparar efectos de tratamientos en la respuesta observada sobre unidades experimentales. En caso de rechazar la hipótesis nula (todos los ensayos se comportaron como replicas), con el valor de la tabla ANOVA se obtienen diferencias entre los comportamientos de cada ensayo, la hipótesis nula se rechaza si el valor P es menor al nivel de significancia (0.05). el valor p es igual a 0,000, de manera que se realiza una prueba de comparaciones múltiples, para este trabajo se usa la prueba de Tukey, es un método basado en intervalos de confianza, es usado para comparar la totalidad de los contrastes de medias, se basa en el hecho que, bajo la hipótesis nula, la totalidad de comparaciones al nivel de significancia de la tabla ANOVA (Tabla 6) se ubican dentro del intervalo, con región crítica dado por la distribución de Tukey (Montgomery, 2010).

**Tabla 6.** Análisis de varianza (ANOVA) y diferencias significativas para los ensayos realizados

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ensayo	2	192,7	96,347	17,50	0,000
Error	69	380,0	5,507		
Total	71	572,7			

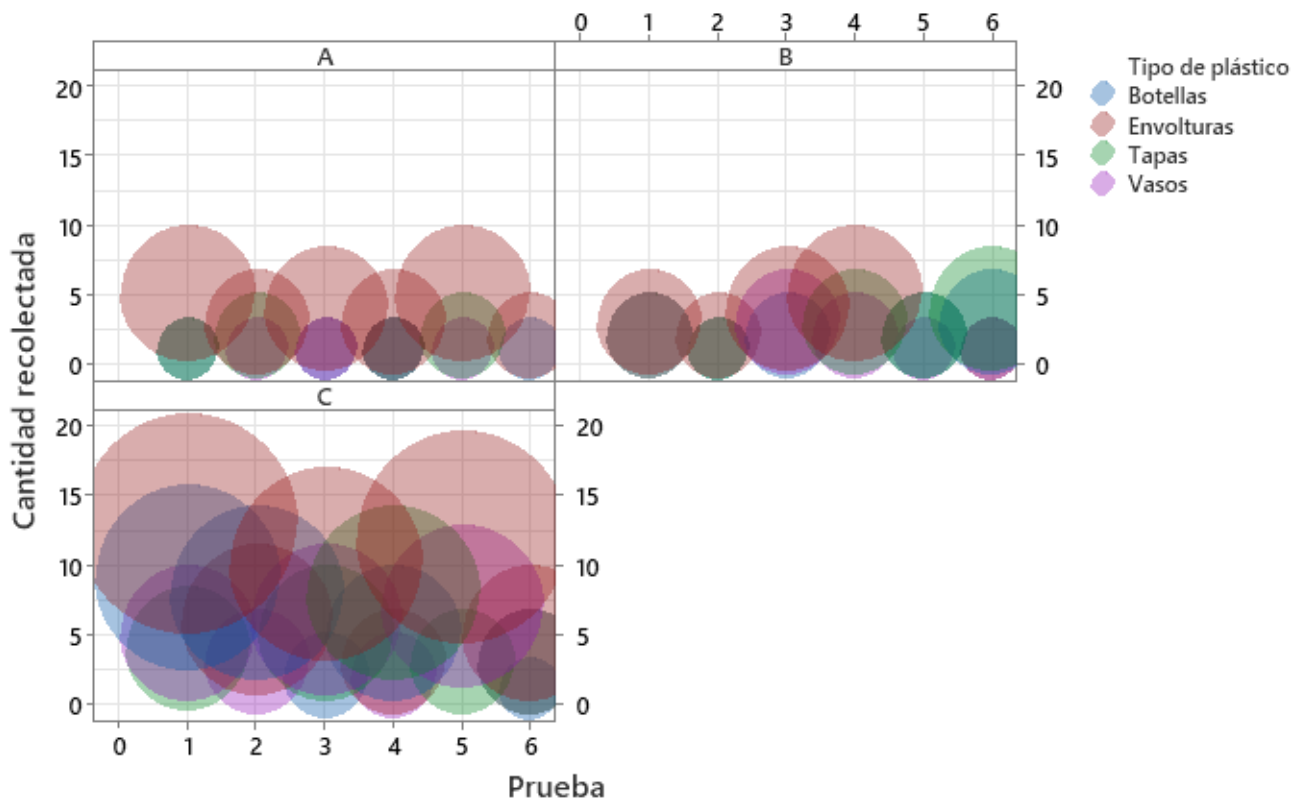
Ensayo	N	Media	Agrupación
C	24	5,125	X
B	24	1,833	Y
A	24	1,500	Y

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el estudio de los prototipos de centro flotante y representados por la Figura 4 revelan un desempeño consistentemente favorable de ambos prototipos en la captura de envolturas plásticas (burbujas rojas), lo que resalta su efectividad en abordar este tipo particular de residuo en entornos acuáticos. A lo largo de las 18 pruebas realizadas en intervalos de 5 y 10 minutos, se evidenció una tendencia positiva en la cantidad de envolturas recolectadas. En general, los dos prototipos lograron capturar una cantidad sustancialmente mayor de envolturas en comparación con otros tipos de residuos durante la gran mayoría de las pruebas, demostrando un buen desempeño del diseño específico para este propósito.

**Figura 4.** Gráfica de burbuja de Cantidad - Ensayo.



Variable de panel: Ensayo

**Fuente:** Elaboración propia

Es importante destacar que para el primer prototipo se añadieron inicialmente 10 de cada uno de los tipos de contaminantes (10 envolturas, 10 botellas, 10 vasos, 10 tapas) dando un total de 40 elementos por ensayo. A pesar de esta distribución inicial uniforme, el prototipo demostró su capacidad para sobresalir en la recolección de envolturas plásticas, independientemente de la cantidad inicial. Esto subraya aún más la efectividad del diseño en la captura de envolturas plásticas, ya que prevaleció en condiciones de competencia con otros tipos de residuos.

Esta efectividad se hace aún más evidente al observar instancias específicas en las que el prototipo recolectó un número significativamente mayor de envolturas en comparación con los otros tipos de residuos.

Al hablar del segundo prototipo, y analizar los resultados del bloque 1 de las pruebas patrón, el cual fue el comprendido por 6 ensayos cada uno de ellos de 5 minutos, se evidencio que en 4 de los 6 ensayos se recolectaron más envolturas. La tendencia evidenciada en el grupo 1 de las pruebas patrón se repitió en el segundo bloque de las pruebas, el cual nuevamente consistió en 6 ensayos con la diferencia de que cada ensayo tuvo una duración de 10 minutos; en este segundo bloque la predominancia fue al recolectar envolturas ya que mayor en 5 de los 6 ensayos realizados. La Tabla 6 muestra la verificación de diferencias significativas plásticos recolectados, lo anterior con objeto de plasmar la similitud entre ensayos.

**Tabla 6.** Comparaciones en parejas de Tukey y una confianza de 95% para tipo de plástico recolectado

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Envolturas	18	4,778	X
Tapas	18	2,278	Y
Vasos	18	2,167	Y
Botellas	18	2,056	Y

*\*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Fuente:** Elaboración propia

Estos resultados consistentes sugieren que el diseño y la configuración de los prototipos son particularmente efectivos para la captura de envolturas plásticas en entornos de agua dulce superficial. Factores como la geometría del sistema de recolección y su interacción con las envolturas plásticas parecen contribuir significativamente a este éxito.

Sin embargo, es esencial destacar que los resultados también demuestran que los prototipos son capaces de recolectar otros tipos de residuos, como botellas, vasos y tapas, en cantidades apreciables. Esto subraya la versatilidad del diseño del sistema de recolección y su capacidad para adaptarse a diferentes formas y tamaños de objetos flotantes en el agua, lo que lo convierte en una herramienta valiosa en la lucha contra la contaminación plástica en entornos acuáticos diversos.

En resumen, los resultados del estudio apuntan a una efectividad de los prototipos de centro flotante en la captura de envolturas plásticas, respaldada por datos cuantitativos sólidos, incluso en condiciones de distribución inicial uniforme de los contaminantes. Aunque su especialización en la recolección de envolturas es evidente, la capacidad de recolectar otros tipos de residuos en variedad de cantidades y tiempos añade versatilidad y amplía

su utilidad en la gestión de la contaminación plástica en cuerpos de agua. Esto pone de relieve su potencial como una herramienta valiosa y adaptable en la lucha contra la contaminación plástica en entornos acuáticos variados. Sin embargo, se sugiere una investigación adicional para comprender completamente las causas de las tendencias observadas y evaluar el rendimiento en condiciones más diversas.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas han evidenciado que la aplicación de los prototipos de centro flotante (Clearbot patentado por Microsoft®) se destacan en la captura de envolturas plásticas. De manera consistente, logró recolectar una cantidad significativamente mayor de envolturas en comparación con otros tipos de residuos en cada uno de los grupos de pruebas realizadas.

A pesar de su enfoque específico en la recolección de envolturas, ambos prototipos han demostrado ser adaptables al capturar otros tipos de residuos, como botellas, vasos plásticos y tapas. Esta versatilidad es esencial para hacer frente a la diversidad de desechos presentes en los cuerpos de agua, ampliando así su potencial aplicación en la gestión de residuos flotantes.

Los datos recopilados en este estudio proporcionan una sólida base para la mejora continua del prototipo. La información obtenida puede orientar la optimización del diseño y la implementación de ajustes que aumenten la eficacia en la captura de residuos y aborden las limitaciones identificadas.

La capacidad de los prototipos (Clearbot patentado por Microsoft®) para recolectar envolturas y otros tipos de residuos tiene el potencial de desempeñar un papel significativo en la reducción de la contaminación acuática. Su rendimiento sugiere que esta tecnología podría convertirse en una herramienta valiosa en la lucha contra la acumulación de desechos plásticos en los lagos.

#### REFERENCIAS

- Blettler, M. C. M., & Wantzen, K. M. (2019). Threats Underestimated in Freshwater Plastic Pollution: Mini-Review.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Cáceres, P. (2021). Boyan Slat, el joven inventor que limpia de plástico los océanos. *EL ÁGORA DIARIO*. <https://www.elagoradiario.com/en-profundidad/artifices-del-futuro/boyan-slat-inventor-limpiar-plastico-oceanos/>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borero, J. C., ... & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Escobar, J. (2002, 2 diciembre). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Un.Org. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411>
- Greenpeace. (2018). Datos sobre la producción de plásticos. Greenpeace España. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Ma, Z., Gao, M., & Zhai, G. (2023). Numerical study on the capture capacity of coastal Seabin-type debris collection devices under regular waves. *Ocean Engineering*, 267, 113111. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113111>
- Mata, F., Dantas, J. L., Donega Queiroz, P., Santos de Castro, F. S., Galvão Matos, G., & Mitsuo Kogishi, A. (2022). A

- Coupled CFD and DEM Study to Evaluate a Trash-boom Debris Retentency. Proceedings of the 39th IAHR World Congress. <https://doi.org/10.3850/iahr-39wc2521711920221131>
- Montgomery, D. (2010). Analisis y Diseño de Experimentos. Limusa, Mexico
- National Geographic. (2018, marzo 23). ¿De qué está hecha la isla de basura del Pacífico? <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/03/de-que-esta-hecha-la-isla-de-basura-del-pacifico>
- National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA. (2020). What are microplastics? Retrieved from <https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html>
- Open Ocean Engineering. (2022). Clearbot: develop smarter technology for cleaner oceans. Recuperado de <https://www.clearbot.org/>
- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2021, 9 julio). Contaminación del mar: aplicación de técnicas nucleares | OIEA. <https://www.iaea.org/>. <https://www.iaea.org/es/temas/contaminacion-del-mar-y-las-costas>
- Paris, A., Kwaoga, A., & Hewavitharane, C. (2022). An assessment of floating marine debris within the breakwaters of the University of the South Pacific, Marine Studies Campus at Laucala Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113290. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113290>
- Penilla, M. E., & Koot, Y. (2020). Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. *Informes Científicos y Técnicos (Universidad Nacional de la Patagonia Austral)*. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>
- Región Administrativa y de Planificación del Pacífico. (2023, 2 marzo). RAPPacifico - RAP Pacífico. RAP Pacífico. <https://rap-pacifico.gov.co/>
- Snow, J. (2021, 3 mayo). Googly-Eyed Trash Eaters May Clean a Harbor Near You. *Science*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/mr-trash-wheels-professor-trash-wheels-baltimore-harbor-ocean-trash-pickup>
- Valencia, M. A. M., & Torres, P. (2013). Influencia de la circulación eólica y marítima en la formación de las islas de basura en el mundo. *Ciencia y sociedad*, 38(4), 743-792. <https://doi.org/10.22206/cys.2013.v38i4.pp743-792>
- Van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Plastic debris in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
- Van Giezen, A., & Wiegmans, B. (2020). Spoilt - Ocean Cleanup: Alternative logistics chains to accommodate plastic waste recycling: An economic evaluation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5(100115), 100115. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100115>