



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Boca del Río

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA

DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**"DISEÑO DE UN COLECTOR PARA SÓLIDOS EN
SUSPENSIÓN EN UN CUERPO DE AGUA"**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA

EVELIA DEL CARMEN FLORES PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. ROCIO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ

CODIRECTOR:

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO

ASESORES:

DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA



Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290

Tel. (229) 690 5010 correo: dir01_bdelrio@tecnm.mx





2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-0708-130818

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 13 del mes de mayo de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"DISEÑO DE UN COLECTOR PARA SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EN UN CUERPO DE AGUA"

Que presenta el (la) alumno(a):

EVELIA DEL CARMEN FLORES PÉREZ

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

DRA. ROCIO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ
Director

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
Co-Director

DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ
Asesor

DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA
Asesor





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Ver
015/JUNIO/2020

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**EVELIA DEL CARMEN FLORES
PÉREZ PASANTE DEL PROGRAMA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

**"DISEÑO DE UN COLECTOR PARA SÓLIDOS EN
SUSPENSIÓN EN UN CUERPO DE
AGUA"**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

A T E N T A M E N T E
*Excelencia en Educación
Tecnológica® Por nuestros
mares responderemos*

**M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFA DE LA DIVISION DE
ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



La maestría en ciencias en ingeniería ambiental del instituto tecnológico de boca del rio está incluida en el programa nacional de posgrados de calidad (PNPC) del CONACYT con referencia 005071.

“Si quieres cambiar al mundo, cámbiate a ti mismo”

Mahatma Gandhi

DEDICATORIA

A dios por dame la perseverancia de seguir adelante y la salud que me da todos los días.

A mi Madre Hilaria y mi tía Mazaría por darme ánimo de seguir y por estar en todas mis etapas de la vida

A mi esposo Víctor por estar a mi lado en las buenas, malas, por tus palabras de aliento de ser mejor persona, por el amor y paciencia que me das todos los días.

A mis tíos, primos, vecinos, por estar siempre cuidando y apoyando en mi crecimiento como personal.

AGRADECIMIENTO

Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río por el apoyo dado en mi formación para el proyecto de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico por medio de la beca recibida en los dos años de formación profesional a través del programa Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental.

Dra. Rocío De Guadalupe Bernal Ramírez, directora de este trabajo de investigación, gracias por el apoyo disponible en estos dos años de mi formación académica, por la atención amable que me dio.

Dra. Fabiola Lango Reynoso, Dra. María del Refugio Castañeda Chávez y Dr. Arturo García Saldaña, gracias por su disposición para resolver mis dudas y guiarme en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Agustín Leobardo Herrera May por su consejo de superación, darme ánimo y herramientas de seguir adelante.

ÍNDICE

Resumen.....	13
Abstrac	14
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2.MARCO TEÓRICO	17
2.2. La NMX-AA-034-SCFI-2015	19
2.2.1 Sólidos suspendidos.	20
2.2.2. Colecta de los sólidos en suspensión de acuerdo con la norma.	20
2.2.3. El análisis y materiales de los sólidos en suspensión de acuerdo con la norma NMX-AA-034-SCFI-2015.	20
2.2.4 Método de turbidez utilizando nefelómetro, turbidímetro y sensor.....	21
2.3. Arduino	23
2.3.1. Hardware de arduino.....	23
2.3.2. Diferentes tipos de placa de arduino	23
2.3.3. Alimentación del arduino.....	24
2.3.4. Diagrama de flujo para utilizar el sensor de turbidez con arduino	25
3. PROBLEMÁTICA	26
4. JUSTIFICACIÓN.....	27
7. OBJETIVOS	28
OBJETIVO GENERAL.....	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
8. Materiales y métodos.....	29
8.1. Área de desarrollo.....	29
8.2.2. DIMENSIONES DEL COLECTOR	32
8.2.3. Materiales del colector	33
8.5. Modelado del colector	36
8.6 Impresión en 3d del diseño del colector	39
8.7. Diseño de la estructura interna del colector	42
8.9. Fabricación de los tamices y copos del colector.....	43
8.10. Colocaciones de los sensores de turbidez y temperatura del colector	44
Conexiones del sensor de turbidez a la placa de arduino.	45
Conexiones del sensor de temperatura a la placa de arduino nano	45
Conexiones del lector de micro SD y batería de 5 V a la placa de arduino nano	45
Colocación del sensor al colector	46
8.11. Programación del sensor de turbidez en la plataforma de arduino.....	47
8.11. Programación del sensor de temperatura en la plataforma de arduino.	48
9.1 Diseño del colector.	49
9.2. Dimensiones del colector.	49

9.3. Características generales del colector	50
9.5. EVALUACIÓN DEL COLECTOR DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	59
En un embalse artificial	59
8. CONCLUSIONES	61
9. Recomendaciones	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triangulo de clases texturales de sedimento Sheppard 1954 y FA.....	18
Figura 2. Diagrama de Hjuström.....	19
Figura 3. Diagrama de un sistema para la medición de turbidez.....	21
Figura 4. Referencia para el mapeo desde el voltaje de salida a la NTU de acuerdo con diferentes temperaturas. por ejemplo, si deja el sensor en agua pura, es decir, NTU <0.5, debería emitir "4.1 ± 0.3V" cuando la temperatura es de 10 ~ 50 °C (DFROBOT, 2017).....	23
Figura 5. Placa de Arduino nano (Diosdado,2014).....	24
Figura 6. Diagrama de flujo para obtener la variable de turbidez (González,2016).....	25
Figura 7. Ubicación del Instituto tecnológico de Boca del Río.....	29
Figura 8. Ubicación del departamento de Microna de la Universidad Veracruzana.....	29
Figura 9. Anatomía externa del pez y tiburón (Lamilla, 2005).....	30
Figura 10. Forma de coeficiente de arrastre (Gillespie, 1992).....	31
Figura 11. Submarino (rtve,2008).....	31
Figura 12. Tipos de aletas caudales de Hexanchiformes (Sáez, 2012).....	31
Figura 13. Redes de colecta para la comunidad plantónica (Flores y Zavala, 1993).....	32
Figura 14. Abertura de manos y brazos.....	32
Figura 15. Material ABS de la marca Zortrax.....	35
Figura 16. Trazado de la forma en 3D.....	36
Figura 17. Trazado de los orificios.....	36
Figura 18. Trazado de las aletas.....	37
Figura 19. Corte de pieza.....	37
Figura 20. Pieza cortada y el trazado de las orejas.....	37
Figura 21. Cabeza terminada.....	38
Figura 22. Sección 2 terminada.....	38
Figura 23. Sección 3 terminada.....	38
Figura 24. Terminado del diseño.....	39
Figura 25. Impresora Zortrax M200 Plus.....	39
Figura 26. Relleno de la pieza y soporte.....	40
Figura 27. Impresión de la base.....	40
Figura 29. a) y b) Piezas termina en 3.....	42

Figura 30. Diseño y medidas de los tamices.....	43
Figura 31. Plantilla de cartulina.....	43
Figura 32. Calentado el material para moldear.....	42
Figura 33. Forma del tamiz.....	44
Figura 34. Acabado de los tamices.....	44
Figura 35. Terminado de los copos de 0.0625 mm y 0.0039 mm.....	44
Figura 36. Conexión del sensor a la placa de arduino nano.....	45
Figura 37. Conexión de sensor de temperatura a la placa de arduino.....	45
Figura 38. Conexión del lector de micro SD, batería de 5 V a la placa con sistema Arduino nano.....	46
Figura 40. Perforación de la pieza, terminado de la perforación y Colocación del sensor.....	47
Figura 41. Codificación del sensor de turbidez sen0189 dfrobot en la ventana de arduino.....	47
Figura 42. Programación de sensor de turbidez de sen0189 dfrobot en la plataforma arduino.....	48
Figura 43. Codificación del sensor de temperatura DS18B20 en la ventana de arduino.....	49
Figura 44. Programación de sensor de temperatura DS18B20 en la plataforma arduino.....	49
Figura 45. Grafica del peso y absorción de la pieza, colocada en agua dulce.....	54
Figura 46. Grafica del peso y absorción de la pieza colocada en agua salada.....	55
Figura 47. Grafica de absorción de la pieza colocada en agua dulce.....	55

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación granulométrica de los sedimentos	14
Tabla 2. Ficha técnica de los equipos utilizados para la obtención de muestra.....	28
Tabla 3. Materiales ocupados para equipos acuáticos.....	31
Tabla 4. Materiales ocupados en la fabricación del colector.....	32
Tabla 5. Ficha técnica del filamento ABS de Zortrax.....	32
Tabla 6. Propiedades de la tela empleada para la fabricación de filtro	34
Tabla 7.- Tiempos de impresión y peso de cada pieza del colector.....	39
Tabla 8. Secciones dimensiones del colector.....	48
Tabla 9. Peso y absorción de la pieza.....	51
Tabla 10. Pesos de los copos colectores.....	57
Tabla 11. Pesos de los copos colectores.....	58
Tabla 12. Concentraciones en los dos sitios de muestreo.....	58

Resumen

Los sólidos suspendidos son materiales particulados dentro del agua que forman parte de los indicadores de la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles para descarga en los cuerpos de agua. Estos son utilizados para diferentes actividades o consumos, por lo que es importante realizar un método para coleccionar, analizar y cuantificar dichos sólidos en suspensión que es mencionado en la norma NMX-AA-034-SCFI-2015, no obstante, este procedimiento puede tener algunos inconvenientes como lo son pérdida de muestra al ser analizada, modificación en los datos debido por la heterogeneidad de las partículas, gastos por compra de insumos, entre otros, generando pérdida de dinero, tiempo e inexactitud en los resultados. Por todo esto, se propone un diseño de un colector de sólidos en suspensión que sea fácil de transportar, utilizar, que no necesite de aditamentos para no aumentar los costos, además de que es económico en la construcción porque utiliza la impresión 3D, usa tecnología de sensores para detectar las partículas más pequeñas, los resultados son obtenidos *in situ*, los materiales de construcción, así como sus accesorios fueron probados en agua dulce, salada y salobre con buenos resultados. Además, el diseño del colector es hidrodinámico lo que permite que se deslice con facilidad, lo que permite obtener la muestra.

Palabras claves: sólidos suspendidos, colector de partículas, diseño, ABS zortrax, SolidWork

Abstrac

Suspended solids are particulate materials in water that are part of the indicators of NOM-001-SEMARNAT-1996, which establishes the maximum discharge's permissible limits into bodies of water. These are used for different activities or consumption,, so it is important to develop a method to collect, analyze and quantify these suspended solids that is mentioned in the NMX-AA-034-SCFI-2015 standard, however, this procedure may have some drawbacks such as loss of sample when analyzed, modification in the data due to the heterogeneity of the particles, expenses for purchasing inputs, among others, generating loss of money, time and inaccuracy in the results. For all this, a design of a suspended solids collector is proposed, it is easy to transport, use, does not need attachments to avoid increasing costs, and it is economical to build because it uses 3D printing, uses sensor technology to detect smaller particles, the results are obtained in situ, the materials used to build the collector proposed, as well as it's accessories were tested in fresh, salt and brackish water with good results. For all this, a design of a suspended solids collector is proposed, it is easy to transport, easy to use, does not need supplies, which reduces costs, it is cheap to build using 3D printing, uses sensor technology to detect smaller particles, the results are obtained in situ, the materials used to build the collector proposed, as well as it's accessories were tested in fresh, salt and brackish water with good results. In addition, the collector design is hydrodynamic allowing it to slide easily, allowing the sample to be obtained.

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos, lagos, laguna, mares y océanos pueden ser cuerpos de agua dulce, salada o salobre (FEA *et al.*, 2006). Además del tipo de agua se pueden diferenciar porque poseen parámetros físicos (sabor, color, turbidez, conductividad, temperatura, etcétera) y químicos (pH, alcalinidad, dureza, Coloides) particulares (Sardiñas *et al.*, 2006). El fondo de los cuerpos de agua se encuentra constituido por minerales y materiales sólidos orgánicos, en forma de partículas llamado sedimentos (RAE,2015). Los cuales se han formado a través del tiempo por procesos de intemperización y erosión de la roca, llevado a cabo por sustancias químicas y fuerzas físicas, como son, la gravedad, el electromagnetismo, la temperatura, el viento, las vibraciones, la presión que se encuentra en el suelo y aire, entre otras (Campoblanco y Gomero., 2000; Beato y Fagundo., 2002). Llegando hasta los cuerpos de agua por diferentes vías como son las actividades antropogénicas, escorrentías, efluentes, cambios en la topografía del suelo o gravedad, durante las diferentes temporadas del año (Restrepo, 2005; Ahmady, 2018).

El transporte de los sedimentos a distintos sitios puede ser por medio del viento o corrientes de agua, una vez en cualquiera de estos medios pueden ir saltando, rodando, deslizándose, flotando, en suspensión o diluidas en el agua (Martín, 2002). Esto sucede porque los sedimentos tienen diferentes densidades, forma y tamaño (Domínguez *et al.*, 2012).

Los sedimentos se pueden clasificar como: GRAVA: Fragmentos de roca, de tamaño menor a 32 mm. Su transporte es rodando en una capa delgada cerca del fondo (Monroe *et al.*,2008; Espinosa, 2001). ARENAS: Fragmentos de roca de tamaño entre 2 mm y 0.625 mm, constituidas de diferentes minerales. Se transportan en el agua rondando, saltando, resbalándose, en ocasiones por efecto del aire, pueden ser formas lisas, redondas o elípticas, por efecto del aire (Fitzpatrick, 1984; Velasco *et al.*, 2014). LIMOS: de Tamaño menor a 0.625 mm y mayores a .0039 mm, de forma redonda (esférico), pueden elevarse a grandes alturas en el aire (Shang,2018). ARCILLAS: son partículas con tamaños menores a 0.0039mm y mayores a 0.00024mm, constituidas principalmente de sílice y aluminio. Se transportan a una velocidad muy lenta por ser impermeables y plásticas, (Gasc 1976; Díaz, 2002). Finalmente están los coloides, que son partículas submicroscópicas de tamaños por debajo de los 0.00024mm. Esta

heterogeneidad granulométrica, aunada la composición mineralógica permite que se lleven a cabo en los sedimentos diversos ciclos biogeoquímicos como son los del calcio, potasio y fosforo (Valverde 2005). Este último se ha encontrado en los sedimentos superficiales en ambientes acuáticos (Márquez, *et al.*,2000).

Se definen como sedimentos superficiales al material sobre el fondo del cuerpo de agua, que pueden ser desprendido por el movimiento del flujo y transportado en la parte inferior de la columna de agua (Varni,2003; Vargas,2000). Y como sólidos en suspensión, a las partículas que se mueven entre la parte media y superficial de la columna de agua, los cuales pueden transportarse de acuerdo con su tamaño (125 mm a menores de .0625 mm). Por lo tanto, las arenas muy finas, limos, arcillas y los coloidales, pueden considerarse sólidos en suspensión (Martin,2002; Ramos, 2002; Roth y Hughes, 2010).

Una característica de las partículas en suspensión es su afinidad con los contaminantes, por tener el mismo tamaño y densidad, lo que las hace permanecer juntas en la parte media y superior de la columna de agua, dificultando poder distinguirlas (Bhateria y Jain., 2016). Por lo que es uno de los parámetros que se utiliza para definir el grado de contaminación de una descarga residual, como lo menciona la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-SEMARNAT-1996).

Para poder coleccionar los sólidos en suspensión existen en el mercado varios dispositivos desde los más sencillos como las botellas Nalgene, hasta los electrónicos como las sondas multiparamétricas, sin embargo, son pesados, costoso y algunos de difícil manejo. La Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015 establece el método de “colecta y análisis” de sólidos en suspensión y sales disueltas en cuerpos de agua, mencionando que puede haber problemas, en el análisis; por su contenido de agentes orgánicos y por qué se adhieren a las paredes del muestreador y de los recipientes en el muestreo, y en la toma de alícuotas por la heterogeneidad de las partículas. Por lo que, si se controlan estas dos variables se tendría una mejor calidad de datos. Considerando lo anterior, La finalidad de este trabajo de investigación es diseñar un colector para sólidos en suspensión en agua, que permita controlar la heterogeneidad de la muestra, sea de fácil manejo, ligero y de bajo costo.

2.MARCO TEÓRICO

En los ambientes acuáticos actúan diversos procesos como son la erosión, transporte y depósito de sedimentos, arrastre de material orgánico de forma natural o de origen antrópico y acumulación de contaminantes por descargas de aguas residuales o industriales, escorrentías, entre otros (Quiñones *et al.*, 2020). El incremento o decremento de cualquiera de ellos, afecta en la calidad y abastecimiento de agua, por lo que hay que generar acciones de control, para mitigar el deterioro (Benjumea *et al.*, 2018; Robert *et al.*, 2016). Una acción de control es el monitoreo de las concentraciones de sedimentos que se encuentran en los cuerpos de agua (Laino, 2015).

Los sedimentos del suelo nos aportan información de movimientos de contaminantes y cambios en el suelo, al estar constituidos por una mezcla de material sólido de origen orgánico y mineral (Ruiz, 2014). Los sedimentos pueden ser de origen detríticos o clásticos (más del 50% de terrígenos) como son los conglomerados o ruditas, areniscas, limolitas, lutitas y arcillitas (limos y arcillas). También pueden ser No detríticas (menos del 50% de terrígenos), que son de precipitación química o biogeoquímica (calizas, dolomías, evaporitas y silíceas). Todas las rocas detríticas tienen una morfología y naturaleza que se puede clasificar (Hallsworth, 1999).

Existe otra clasificación según su el tamaño propuesta por Udden en 1914, modificada posteriormente por Wentworth 1922. La tabla 2 de Udden-Wentworth es utilizada por el Subcomité de Terminología Sedimentológica de la Unión Americana de Geofísicos (AGU) para clasificar a los sedimentos como se muestra en la tabla 1 (Basile, 2018).

Tabla 1. Clasificación granulométrica de los sedimentos (Udden-Wentoworth)

Denominación	d (mm)	ϕ	d (μm)
Cantos rodados muy grandes	4096 – 2048	-12 a -11	
Cantos rodados grandes	2048 – 1024	-11 a -10	
Cantos rodados medianos	1024 – 512	-10 a -9	
Cantos rodados pequeños	512 – 256	-9 a -8	
Guijarros grandes	256 – 128	-8 a -7	
Guijarros pequeños	128 – 64	-7 a -6	

Denominación	d (mm)	ϕ	d (μm)
Grava muy gruesa	64 – 32	-6 a -5	
Grava gruesa	32 – 16	-5 a -4	
Grava mediana	16 – 8	-4 a -3	
Grava fina	8 – 4	-3 a -2	
Grava muy fina	4 – 2	-2 a -1	
Arena muy gruesa	2 – 1	-1 a 0	
Arena gruesa	1 – 1/2	0 a 1	
Arena mediana	1/2 – 1/4	1 a 2	
Arena fina	1/4 – 1/8	2 a 3	
Arena muy fina	1/8 – 1/16	3 a 4	125 – 62.5
Limo grueso	1/16 – 1/32	4 a 5	62.5 – 31.3
Limo mediano	1/32 – 1/64	5 a 6	31.3 – 15.6
Limo fino	1/64 – 1/128	6 a 7	15.6 – 7.80
Limo muy fino	1/128 – 1/256	7 a 8	7.8 – 3.90
Arcilla gruesa	1/256 – 1/512	8 a 9	3.9 – 1.95
Arcilla mediana	1/512 – 1/1024	9 a 10	1.95 – 0.98
Arcilla fina	1/1024 – 1/2048	10 a 11	0.98 – 0.49
Arcilla muy fina	1/2048 – 1/4096	11 a 12	0.49 – 0.24

Sheppard (1954). Propuso un método gráfico, para determinar el grupo textural de sedimentos, con base en la composición y el porcentaje de cada fracción granulométrica de la muestra colectada.

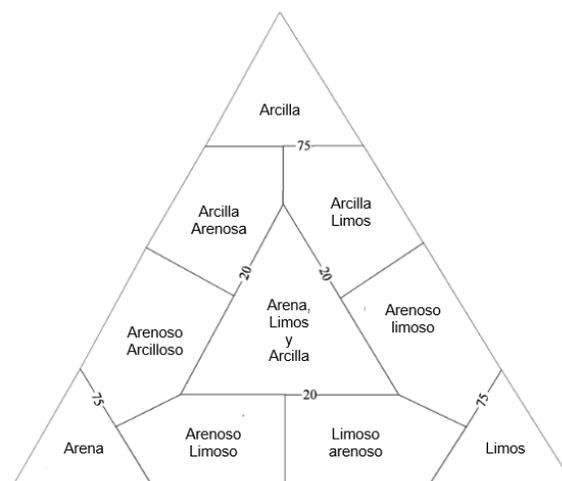


Figura 1. Triángulo de clases texturales de sedimento Sheppard 1954

En un flujo de agua existe una relación entre la capacidad para erosionar, transportar y

sedimentar las partículas de sedimento con la velocidad de la corriente y su tamaño. Esta relación se describe en el diagrama de Hjuström, el cual define los criterios de erosión, sedimentación y transporte del sedimento, utilizando una escala de .0001 cm/s a 1000 cm/s para velocidad y 0.1 cm a 3.2 cm para partículas del suelo. Un ejemplo de esto son las partículas de arcillas que se transportan en el agua a una velocidad de 0.0001 cm/s a 0.80 cm/s y no sedimentan. Las arenas, se transportan a una velocidad de 0.80 cm/s a 0.80 cm/s y en la zona de sedimentación tiene una velocidad 0.80 cm/s a 0.001 cm/s.

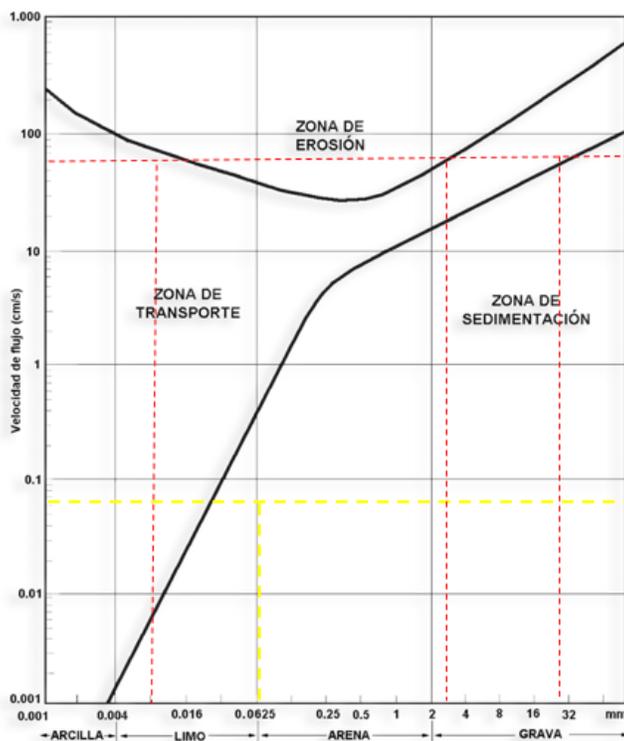


Figura 2. Diagrama de Hjuström

2.2. La NMX-AA-034-SCFI-2015

Establece el análisis de agua-medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Menciona que el agua contiene varios tipos de sólidos, entre ellos, se encuentran los sólidos suspendidos, los cuales, junto con los demás, pueden afectar de forma negativa la calidad de un cuerpo de agua, un efluente o los procesos en las plantas potabilizadoras.

2.2.1 Sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos son material particulado de limos, arcillas, plancton, algas, desechos orgánicos finos y otras partículas (EPA,2012). Para determinar cuánto material se tiene, se utiliza el método estándar de la NMX-AA-034-SCFI-2015, para la colecta de la muestra, análisis y cuantificación.

2.2.2. Colecta de los sólidos en suspensión de acuerdo con la norma.

La colecta de la muestra se necesita mínimo una botella de boca ancha de 600 ml plástico o vidrio y taparse inmediatamente después de la recolecta. Se llenan los recipientes antes del borde para permitir eficiente homogenización por medio de la agitación.

2.2.3. El análisis y materiales de los sólidos en suspensión de acuerdo con la norma NMX-AA-034-SCFI-2015.

Para analizar la muestra el primer paso es llevar el filtro a una estufa para esterilizar a 105°C por una 1 hora, enfriar en el desecador apropiadamente media hora hasta llegar a temperatura ambiente para empezar el método se pesa el filtro.

El segundo paso, en una probeta se vacía 50 ml de muestra, colocar el embudo Buchner al Erlenmeyer y la bomba de vacío. Colocar el filtro adentro del embudo y prender la bomba de vacío para filtrar.

Una vez filtrado se lleva el filtro a la estufa a 105°C por 24hr, después de ese tiempo se lleva al desecador, por media hora a enfriar y se pesa.

El tercer paso es llevar a una mufla a 550°C por media hora, llevar al desecador, por media hora a enfriar y pesar.

Para la realización de todo el método se utilizan los siguientes materiales

- Probeta graduada
- Pinza
- Filtro de fibra de vidrio

- Erlenmeyer con desprendimiento lateral
- Embudo Buchner
- Bomba de vacío desecador
- Estufa
- Mufla
- Balanza analítica

El método para los sólidos en suspensión descrito por la norma esta estandarizado, pero existen otras técnicas para detectar visualmente los sólidos en suspensión como son:

2.2.4 Método de turbidez utilizando nefelómetro, turbidímetro y sensor.

El método de turbidez es utilizado para detectar visualmente los sólidos en suspensión que están afectando la transparencia del agua y el instrumento que se utiliza es nefelómetro o turbidímetro. (Guzman,2013).

El nefelómetro cuantifica la intensidad de la luz dispersa, ocurrida por una dispersión múltiple que disminuye la intensidad de luz difusa que llega al detector situado a 90° . Y el turbidímetro mide la tasa o relación de intensidades luminosas con la dispersión de las partículas (Acebo,2012).



Figura 3. Diagrama de un sistema para la medición de turbidez

Actualmente hay turbidímetros de uso individual, que solamente trabaja con una muestra en un frasco de cristal que contiene menos de 10 ml. Esto son fácil de usar, pero no cuantifica, ni clasifica las partículas. Además, son delicados al utilizarlo porque no tiene que estar en contacto con el agua, no cuantifica, no clasifica las partículas y existen diferentes marcas como Hanna, Lovibond, Hach por mencionar algunos.

Existen otros instrumentos que miden la turbidez, por medio de un sistema óptico, sensores de infrarrojos, como es la marca Hach, Optisens y el precio en el mercado es mayor a 10,000 pesos. Existe otro sensor, económico, que utiliza una placa de arduino y programable con un software libre, que registra datos de forma directa, continua y reversible (Vidal et al., 2019).

Sensor de turbidez SKU: sen0189 (marca de DFROBOT).

El sensor de turbidez arduino de gravedad muestra la calidad del agua calculando los niveles de turbidez. Utiliza una luz para detectar partículas suspendidas en el agua midiendo la transmitancia de la luz y la tasa de dispersión, que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos en el agua. A medida que aumenta los sólidos en suspensión, aumenta el nivel de turbidez del líquido. Los sensores de turbidez se utilizan para medir la calidad del agua en ríos y arroyos, mediciones de aguas residuales y efluentes, instrumentación de control para estanques de sedimentación, investigación de transporte de sedimentos y mediciones de laboratorio. El sensor de líquido SKU: sen0189, proporciona modos de salida de señal analógica y digital. El umbral es ajustable cuando está en modo de señal digital (DFROBOT, 2017).

Especificaciones

- Voltaje de funcionamiento: 5 V CC
- Corriente de funcionamiento: 40mA (MAX)
- Tiempo de respuesta: <500 ms
- Resistencia de aislamiento: 100M (Min)
- Método de salida:
- Salida analógica: 0-4.5 V
- Salida digital: señal de nivel alto / bajo (puede ajustar el valor umbral ajustando el potenciómetro)
- Temperatura de funcionamiento: 5 °C ~ 90 °C
- Temperatura de almacenamiento: -10 °C ~ 90 °C
- Peso: 30g
- Dimensiones del adaptador: 38 mm * 28 mm * 10 mm / 1.5 pulgadas * 1.1 pulgadas * 0.4 pulgadas

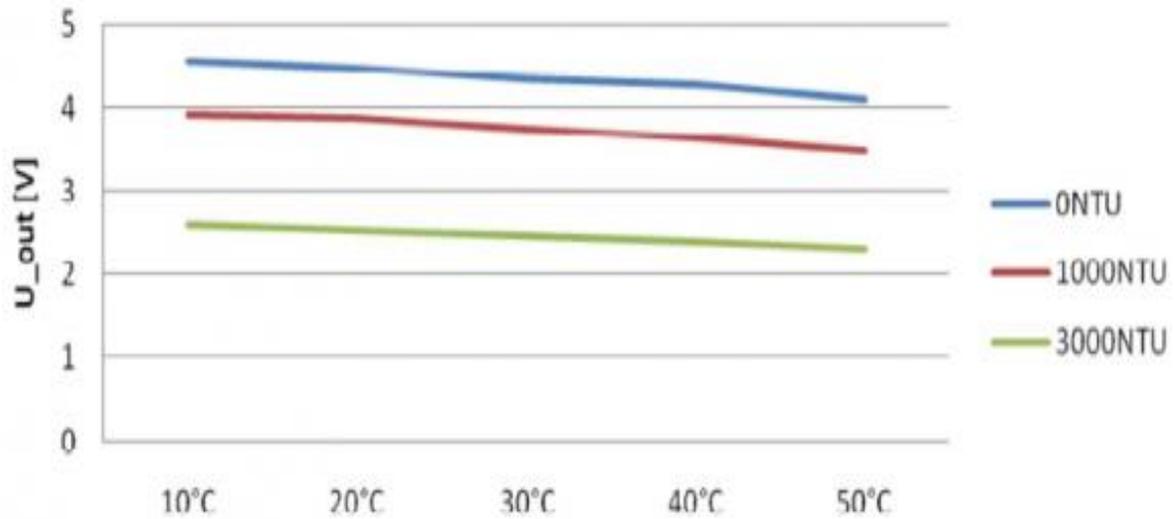


Figura 4. Referencia para el mapeo desde el voltaje de salida a la NTU de acuerdo con diferentes temperaturas. por ejemplo, si deja el sensor en agua pura, es decir, NTU <0.5, debería emitir "4.1 ± 0.3V" cuando la temperatura es de 10 ~ 50 °C (DFROBOT, 2017).

2.3. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, que basa su funcionamiento en una placa con entradas y salidas (analógicas y digitales), con un entorno de desarrollo que incorpora todo lo necesario para crear programas (Peña,2020).

2.3.1. Hardware de arduino

El hardware de Arduino es una placa con un circuito integrado programable Atmel AVR y puertos de entrada/salida con entorno de desarrollo. En este proyecto se manejó una placa de Arduino Nano (Arduino,2019).

2.3.2. Diferentes tipos de placa de arduino

- Diecimila es una placa que se conecta al ordenador con un cable estándar USB y contiene todo lo que necesitas para programar y usar la placa.
- Nano es una placa compacta diseñada para uso como tabla de pruebas.
- Mini esta es la placa más pequeña de Arduino. Se conecta al ordenador usando el cable Mini USB.

- Serial es una placa básica que usa RS232 como un interfaz con el ordenador para programación y comunicación.
- Serial Single Sided: Esta placa está diseñada para ser grabada y ensamblada a mano(Enríquez,2009).

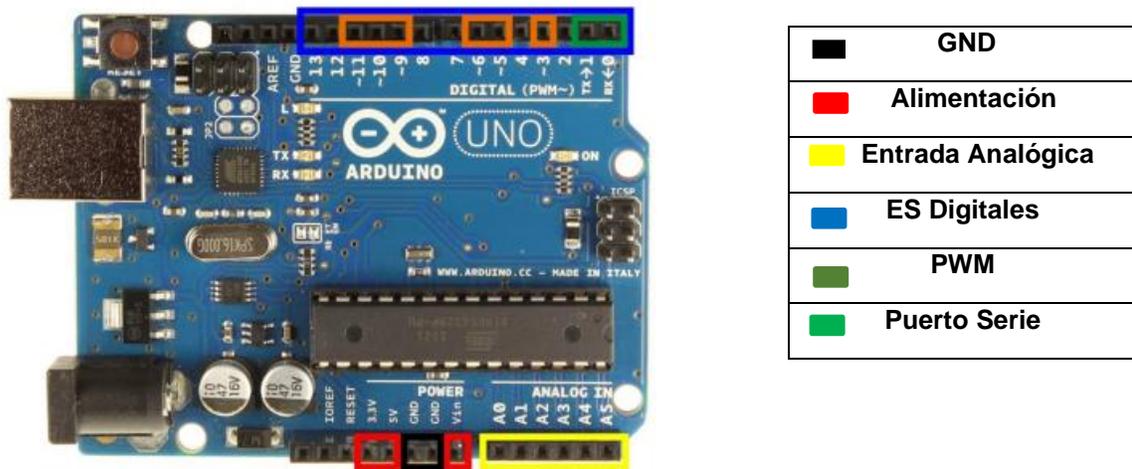


Figura 5. Placa de arduino nano (Diosdado,2014).

2.3.3. Alimentación del arduino

La alimentación del Arduino es a través de la conexión USB o energía externa, la entrada de energía es mediante el jumper que alimenta a la placa desde la conexión USB. Instalando los dos pines próximos al conector USB, para proveer energía externa, en los dos pines más cercanos al conector de alimentación externa (Enríquez,2009).

La placa trabaja con una energía exterior de 6 a 20 voltios y el rango recomendado es de 7 a 12 voltios. Los pines de alimentación son los siguientes VIN (Ingreso de tensión a la placa Arduino cuando está empleando una fuente de alimentación exterior), 5V (Abastecimiento regulado de energía usado para alimentar al microcontrolador y otros componentes de la placa) 3V₃. (Abastecimiento de 3.3 V) y GND que son pines de tierra (Miarduino, 2016).

2.3.4. Diagrama de flujo para utilizar el sensor de turbidez con arduino

El diagrama de flujo de la placa Arduino para aceptar datos por medio del puerto analógico A2, induciendo al sensor que detecta la señal analógica, al inicio registra la variable de turbidez y manda datos a la placa Arduino (González,2016).

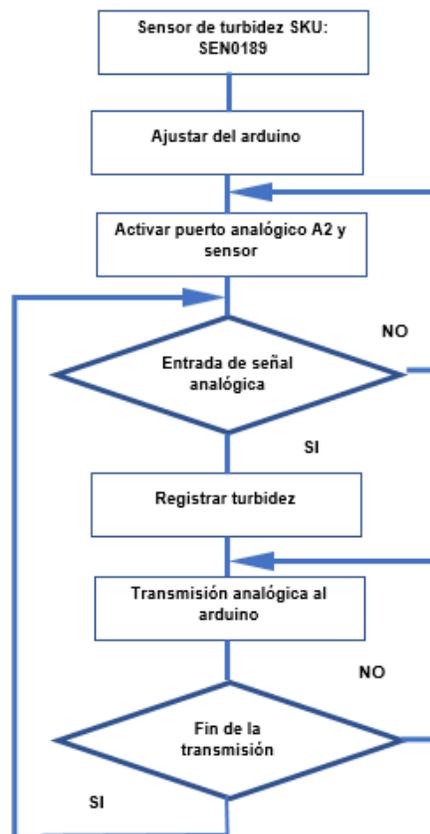


Figura 6. Diagrama de flujo para obtener la variable de turbidez (González,2016).

3. PROBLEMÁTICA

Con el incremento demográfico se ha incrementado la producción de residuos, cuyo destino final de muchos de ellos son los cuerpos de agua, si a ello le sumamos el aumento de los residuos naturales como sedimentos y materia orgánica, con el tiempo los problemas económicos, de salud y contaminación son evidentes. Uno de ellos, es el aumento y la acumulación de sólidos suspendidos, los cuales producen cambios físicos, biológicos y químicos modificando el agua destinada al consumo. Las Normas Oficiales NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y NMX-AA-034-SCFI-2015, análisis de agua-medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba, con la finalidad de conocer la calidad de agua residual que se está vertiendo a los diferentes cuerpos de agua, mencionan a los sólidos en suspensión como uno de los parámetros a considerar. Concluyendo que La precisión de los datos para la medición del contenido de materiales en suspensión, depende principalmente de la naturaleza y heterogeneidad de la muestra, y no del procedimiento del análisis. Si se toma en cuenta que, los equipos existentes, para la toma de la muestra, son pesados, de manejo complicado o son de costo elevado por generar resultados continuos. Es necesario proponer equipos de bajo costo y fácil manejo para mejorar la heterogeneidad de la muestra.

4. JUSTIFICACIÓN

La acumulación de sólidos suspendidos produce cambios físicos, biológicos y químicos que modifican la calidad de agua, por lo que se considera un parámetro esencial de monitoreo y control como lo marca la norma NMX-AA-034-SCFI-2015 análisis de agua-medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Esta norma menciona la técnica para coleccionar, analizar y cuantificar; sin embargo, el procedimiento puede tener algunos inconvenientes como pérdida de muestra al analizarla, modificación en los datos por la heterogeneidad de las partículas, gastos por compra de insumos, entre otros, generando pérdida de dinero, tiempo e inexactitud en los resultados.

En la actualidad, existen instrumentos para coleccionar sólidos en suspensión, como son las botellas para coleccionar agua o instrumentos con sensores, que registran las concentraciones, sin embargo, son caros, pesados, o se tienen que comprar varios insumos para coleccionar y analizar la muestra. Por lo que, con base a lo anterior, se propone implementar un dispositivo para coleccionar sólidos en suspensión que sea ligero, de fácil uso, de manejo seguro, permita controlar la heterogeneidad de la muestra y nos genere datos con rapidez y exactitud.

7. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un colector para sólidos en suspensión en un cuerpo de agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características, dimensiones y materiales para el colector de sólidos en suspensión.
- Establecer la estructura interna del colector.
- Evaluar el colector en condiciones controladas y no controladas.

8. Materiales y métodos

8.1. Área de desarrollo

El diseño del colector en 3D, la fabricación de los tamices y la programación del sensor de turbidez fue realizado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río. Ubicado en la carretera Veracruz-Córdoba Kilómetro 12, 94290 Boca del Río, Veracruz (figura 5).

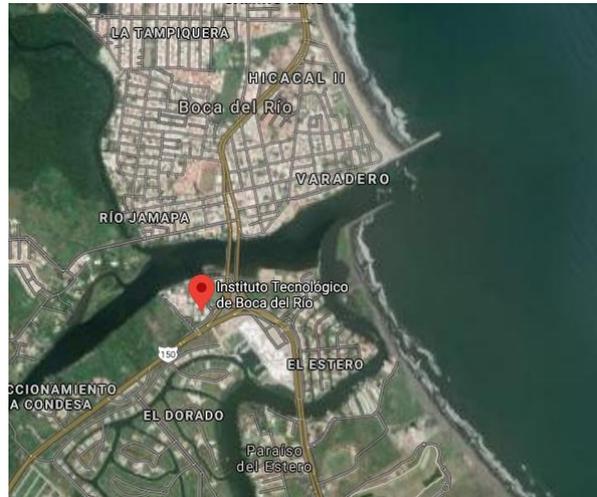


Figura 7. Ubicación del Instituto tecnológico de Boca del Río (Google maps,2019).

Y la impresión del diseño colector fue la Universidad Veracruzana en el departamento de MICRONA, Bv. Adolfo Ruíz Cortines 455, Costa Verde, 94294 Veracruz, Ver.

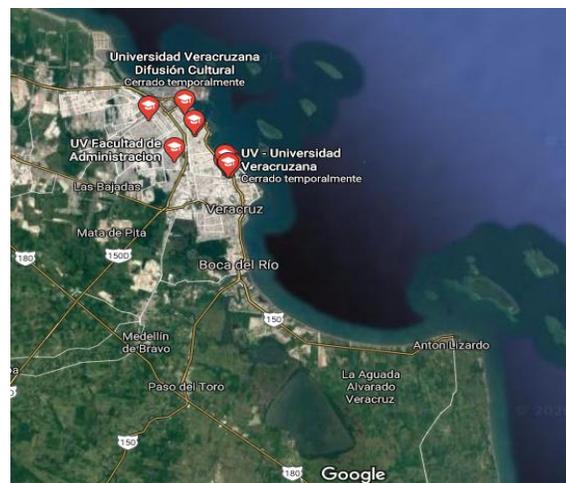


Figura 8. Ubicación del departamento de microna de la universidad veracruzana (Google maps,2019).

8.2. CARACTERÍSTICAS, DIMENSIONES Y MATERIALES DEL COLECTOR DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

8.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR

Para determinar la forma externa del colector, Se revisaron diferentes equipos que actualmente son utilizados y comercializados. Tabla 2. Sin encontrar uno que cuantifique los diferentes sólidos en suspensión simultáneamente, sean ligeros y de fácil manejo. Por lo que se optó por un diseño tipo modular que cumpliera con estas características.

Tabla 2. Ficha técnica de los equipos utilizados para la obtención de muestra.

Nombre del equipo	Características
Botella de agua Van Dorn	Se utiliza para tomar muestras en vertical en aguas somera, profundas y tiene una capacidad de 2.2 L
Botella de agua Kemmerer	Se utiliza para tomar muestras en vertical de lagos, canales, balsas, mar y tiene una capacidad de 1.2 L.
Botella tipo Delft	Se utiliza para tomar muestra de sedimentos suspendidos en ríos y otros flujos de agua.
Muestreador de sedimentos DH-48	Se utiliza para tomar muestra de sedimentos suspendidos y tiene un peso 2 kg

Se consideró, como referencia para el diseño del colector la anatomía de organismos marinos, por su forma hidrodinámica que le permite transportarse con facilidad en el agua. Figura 9.

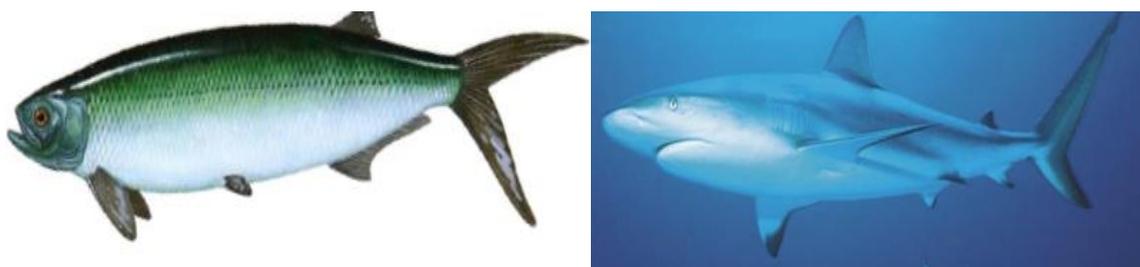


Figura 9. Anatomía externa del pez y tiburón (Lamilla, 2005).

De la misma manera, se tomó como referencia el coeficiente de arrastre utilizadas en la fabricación de automotriz, siendo la aerodinámica la que tiene un mejor transporte (figura 10). Otra forma considerada fue el diseño de los submarinos y armamento militar. (figura 11). Para la parte trasera del colector, se consideró la forma de la cola de los organismos marinos, porque les permite controlar su dirección (figura12).

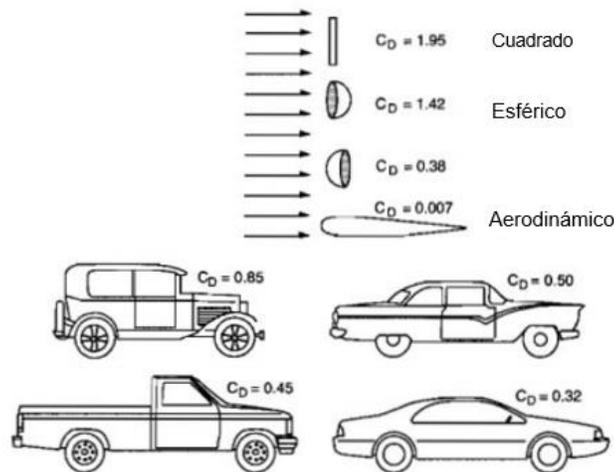


Figura 10. Forma de coeficiente de arrastre (Gillespie, 1992)



Figura 11. Submarino (rtve,2008)

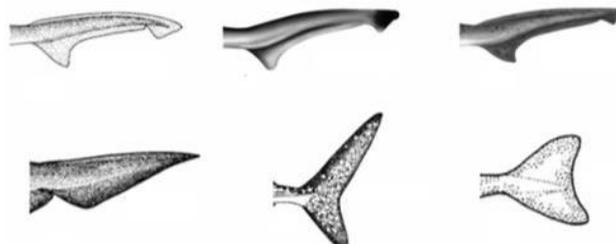


Figura 12. Tipos de aletas caudales de Hexanchiformes (Sáez, 2012)

Para determinar las características internas del colector se consideró el método de colecta para la comunidad planctónica. (Granados,2020) figura13. Definiéndose una serie de mayas o tamices para los diferentes tamaños de partículas con base a la escala de Udden-Wentoworth 1922.

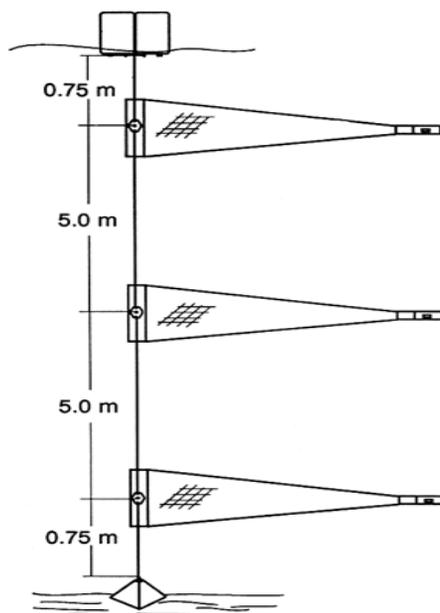


Figura 13. Redes de colecta para la comunidad plantónica (Flores y Zavala, 1993).

8.2.2. DIMENSIONES DEL COLECTOR

Las dimensiones del colector fueron estimadas para trabajar de manera individual y segura, considerándose medidas antropométricas, como el largo, el tamaño de la abertura de los brazos a 45°, lo que sugiere una distancia entre 70 y 1 metro aproximadamente y para el diámetro se consideró el agarre de ambas manos estimando una abertura de 12 cm.

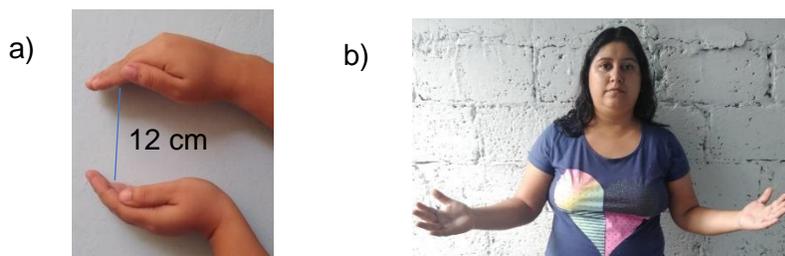


Figura 14. Abertura de manos y brazos.

Para que las redes de plancton tengan una mayor eficiencia de filtrado (Ecuación 1), deben conservar una proporción de 1:3 boca-longitud (Granados,2000). Por lo que esta proporción, fue considera para el

tamaño de los accesorios del interior del colector, sumando la distancia que separa a los tamices. Con referencia a lo anterior, se ajustó la medida exterior a 0.75 m con un ancho máximo de 0.12 m. Para conocer la eficiencia en el filtrado de las partículas con relación entre la cantidad de agua de entrada y salida, se utilizará la siguiente ecuación.

$$F=1/v (Qf/t A)$$

F= Coeficiente de filtración

v= velocidad de arrastre

Qf= volumen de agua filtrado

A= Área de la boca de la red

t=tiempo

8.2.3. Materiales del colector

Para la selección del material del colector se realizó una revisión bibliográfica y comparación de los materiales utilizados en los equipos acuáticos (tabla 3).

Tabla 3. Materiales ocupados para equipos acuáticos

Materiales	Ventajas y desventajas	Resultados
PVC	Resistente	44 Mpa
	Reutilizable	Si
	Duradero	8 a 12 años
	Costo elevado	Si
	Mano de obra	Si
Fibra de vidrio	Resistente	350 Mpa
	Moldeable	Si
	Duradero	Si
	Costo elevado	Si
Cerámica	Resistente	24.8 Mpa.
	porosidad	Si
	Frágil	Si
	Costo elevado	Si
Malla Nytex, tex pollamida	Resistente	82 Mpa
	Reutilizable	Si
	Duradero	3 a 5 años
	Costo elevado	Si

La tabla muestra que si bien son durables el costo es elevado. Actualmente la tecnología en la fabricación de piezas ha recurrido a materiales termoplásticos como es el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), por su resistencia, dureza y rigidez para la construcción de piezas que serán sometidas a una gran fuerza (Letechipia, 2015).

Tabla 4. Materiales ocupados en la fabricación del colector

Materiales	Ventajas y Desventajas	Características
Polímero ABS	Resistente al agua	Si
	Resistente temperaturas	50° C
	Duradero	Si
	Facil de trabajar	Si
	Costo accesible	500 pesos a 1,000 pesos
Lamina de PVC	Resistente al agua	Si
	Resistente a temperaturas	60°C
	Duradero	8 a 12 años
	Facil de trabajar	Si
	Costo accesible	250 pesos

Para la fabricación de piezas se utiliza una impresora en 3D, que le da un buen acabado y no tiene costos elevados (1kg= \$ 500- 1000.00 M.N.). Estas impresoras utilizan filamentos de PLA (Poliácido Láctico), PETG (Tereftalato de Polietileno Glicol), HIPS (Poliestireno de alto impacto) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno).

Tabla 5. Ficha técnica del filamento ABS de Zortrax

Propiedades mecánicas	Sistema métrico decimal	Método de prueba
Resistencia a la tracción	30.46 MPa	ISO 527:1998
Elongación y máxima	4.52%	ISO 527:1998
Elongación a la rotura	11.08%	ISO 527:1998
Estrés de flexión	46.30 MPa	ISO 178:2011
Módulo de flexión	1.08 GPa	ISO 178:2011
Otras propiedades	Sistema métrico decimal	Método de prueba
Densidad específica	1.195 g/cm ³	ISO 1183-3:2003

La ficha técnica de la impresora Zortrax M200 Plus presenta pruebas realizado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO). Para resistencia, tracción, elongación a la rotura, estrés y módulo de flexión, Tabla.4.



Figura 15. Material ABS de la marca Zortrax.

Otro material considerado para la fabricación de los accesorios internos del colector (tamices) es la lámina de PVC, que posee propiedades de flexibilidad, durabilidad, fácil de trabajar y tiene un peso ligero. El tamiz va recubierto de una tela polipropileno de tejido multifilamento, con un diámetro de abertura de 250 μ y 40 μ . Sus propiedades se pueden consultar en la tabla 4.

Tabla 6. Propiedades de la tela empleada para la fabricación de filtro (Echeverri).

TELA	TEMPERATURA (°C)		RESISTENCIA				
	Continua	Picos	Ácidos	Bases	Abrasión	Tensión	Combustión
Algodón	82	107	Deficiente	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Si
Dacrón	122	163	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Excelente	Si
Fibra De Vidrio	260	288	Regular	Regular	Buena	Buena	Si
Nomex	190	218	Mala	Excelente	Muy Buena	Muy Buena	
Nylon	92	121	Mala	Excelente	Excelente	Excelente	Si
Orlón	127	127	Excelente	Regular	Buena	Buena	Si
Polipropileno	92	94	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Si
Teflón	232	288	Excelente	Excelente	Regular	Buena	No
Lana	92	121	Muy Buena	Deficiente	Regular	Regular	No
Acrílico	127	137	Buena	Regular	Buena	Buena	Si
Polietileno	65	100	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Si
Acetato	71		Mala	Mala	Buena		No
Rayón	94		Mala	Regular	Buena		Si
Cerámica	900	1000					

8.5. Modelado del colector

El software SolidWorks 2016 de 64 bits utiliza CAD (dibujo asistido por computadora), es un modelador de figuras tridimensionales por computadora y de fácil de uso. El cual tiene control sobre la forma, tamaño y modificaciones, verificando el rendimiento de la pieza. Por lo cual se utilizó en el modelado del diseño exterior del colector.

El programa te permite ir trazando en 3d, girar el diseño 360°, realizarlo por piezas y observarlo completo, permite controlar el tamaño de orificios y anexar accesorios.

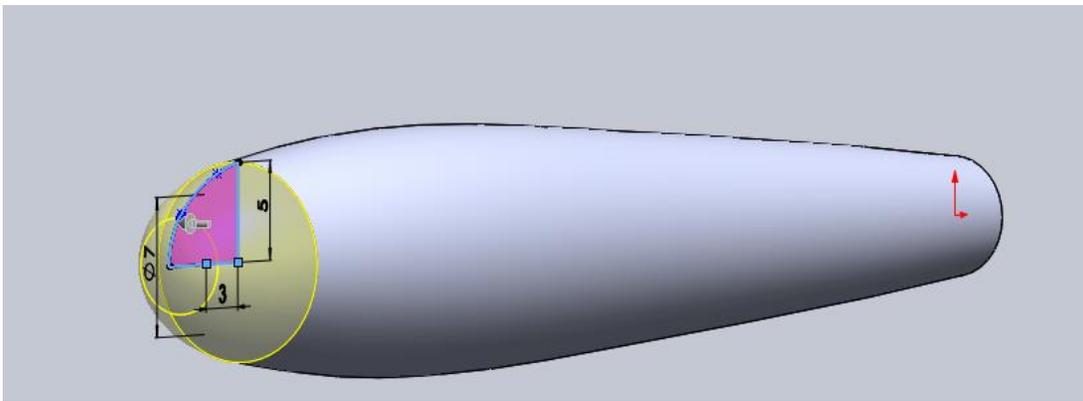


Figura 16. Trazado de la forma en 3D.

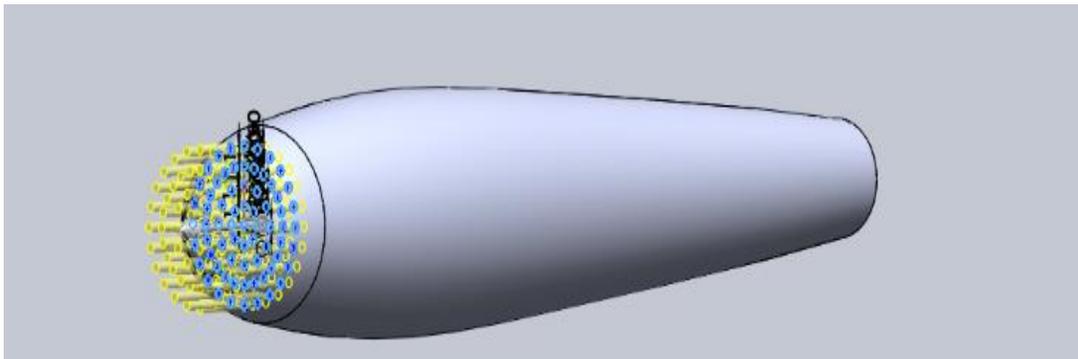


Figura 17. Trazado de los orificios.

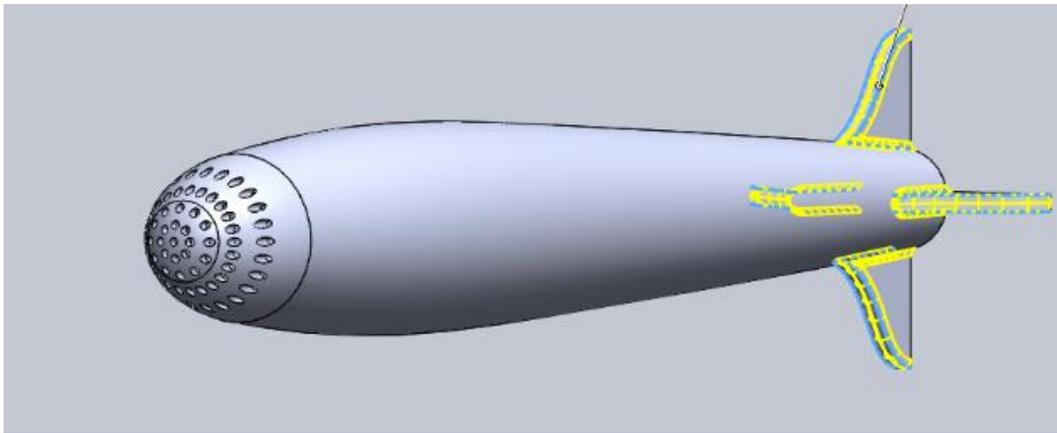


Figura 18. Trazado de las aletas.

Teniendo el diseño terminado, se pueden cortar las piezas. Como el tamaño total del colector era más grande que la impresora se optó por hacerlo en secciones, tomando como referencia la altura que tiene el equipo para imprimir, resultando 5 secciones individuales que son la cabeza, 3 secciones del cuerpo y la parte final.

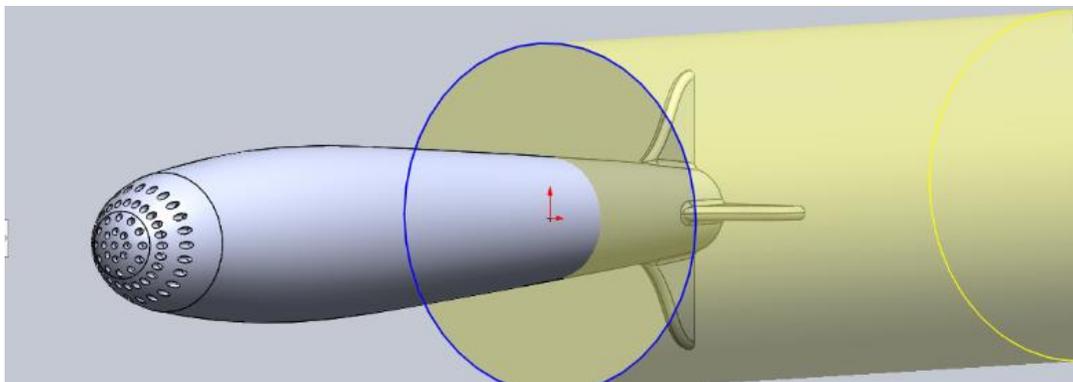


Figura 19. Corte de pieza.

Para su ensamble se colocaron cuatros orejas para los tornillos.

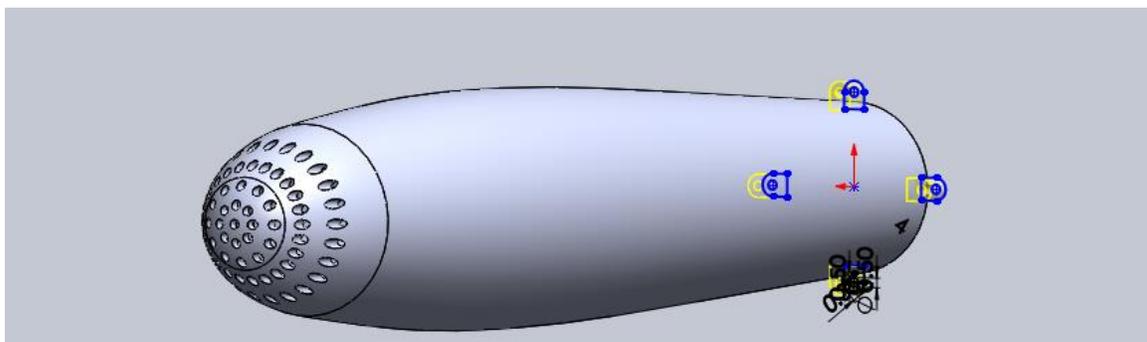


Figura 20. Pieza cortada y el trazado de las orejas.

Una vez concluido el diseño de las piezas, revisamos detalles de diseño, se guarda en formato SLDPR a STL. Abrimos otra ventana que es ensamble, seleccionamos los archivos de todas las piezas para ensamblar fijamos los puntos y todo queda en una sola pieza de la figura 23.

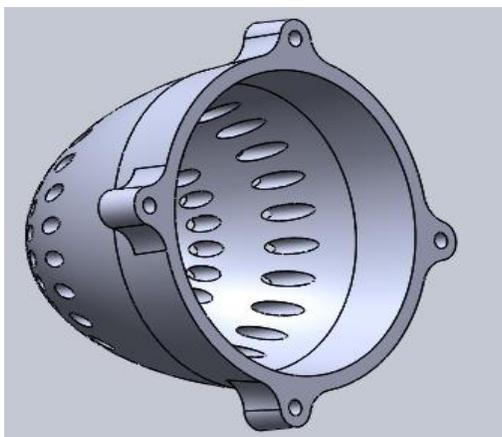


Figura 21. Cabeza terminada.

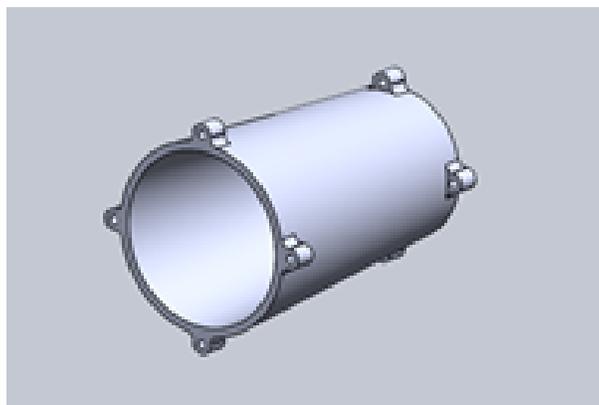


Figura 22. Sección 2 terminada.

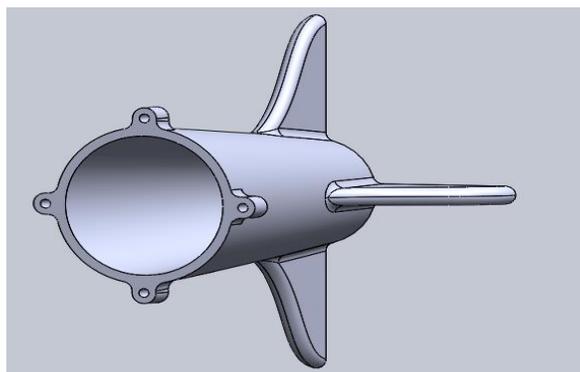


Figura 23. Sección 3 terminada.

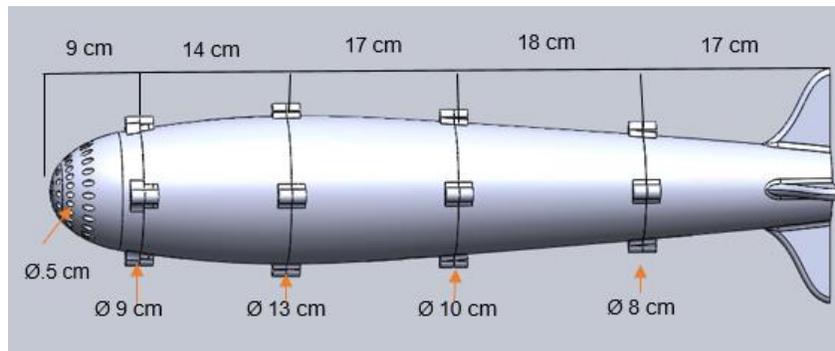


Figura 24. Terminado del diseño.

8.6 Impresión en 3d del diseño del colector

Para la carcasa exterior del colector, se utilizó la impresora Zortrax M200 Plus, que es de fácil manejo y solo se necesita de una persona para trabajar. Además de ser compatible con archivo de formato de SLDPR a STL, que es guardado en una memoria externa, con el propósito de que la impresora codifique el lenguaje del software. Primero se coloca la bobina del filamento estando apagada. Después enciende la impresora, se selecciona la pantalla el diseño y el porcentaje a imprimir. El porcentaje de impresión utilizado fue del 70% con el propósito de que la pieza fuera ligera.



Figura 25. Impresora Zortrax M200 Plus.

La impresión inicia con un purgado, posteriormente elabora una base de 3 mm, que ayuda a que la pieza tenga un soporte y no se vaya a pandear.

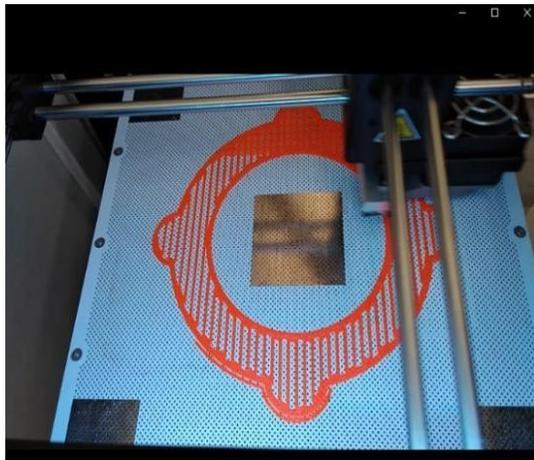


Figura 26. Relleno de la pieza y soporte

La elaboración de la base se tarda media hora aproximadamente, de ahí el cabezal empieza a construir la pieza con movimientos circulares para distribuir el material por toda la pieza, además agrega unos soportes laterales que ayuda a que contiene el patrón del diseño, aunado a que la base del plato sigue caliente para que la pieza permanezca unida al plato. Todo el procedimiento de impresión es el mismo para todas las piezas.

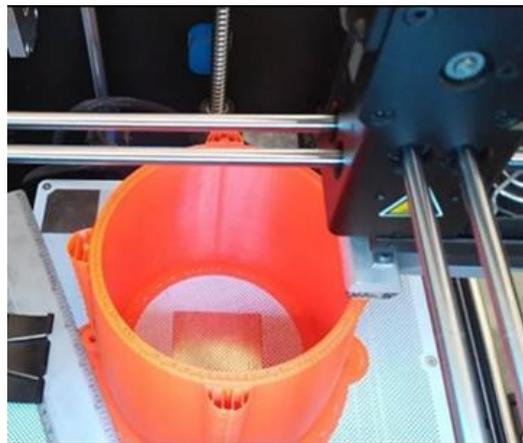


Figura 27. Impresión de la base.

La Zortrax trabaja con un tiempo de impresión continuo porque este equipo no tiene una memoria interna que guarde los pasos realizados, solamente toma el archivo como se guardó

Tabla 7.- Tiempos de impresión y peso de cada pieza del colector.

Sección	Tiempo	Peso
1	9 h con 12 min	109 gr
2	13 h con 30 min	239 gr
3	7 h con 42 min	134 gr
4	7 h con 59 min	141 gr
5	7 h con 26 min	129 gr
6	7 h con 29 min	132 gr
7	7h con 25 min	150 gr
8	7 h	126 gr

Al final cada pieza fue impresa en un día. Para tener un acabado limpio se quitó el exceso de material limpiando con un trapo de algodón suave.

a)



b)

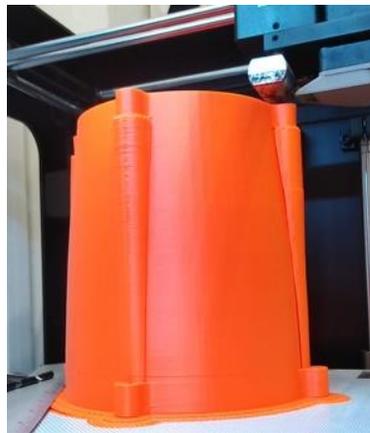


Figura 29. a) y b) Piezas termina en 3

8.7. Diseño de la estructura interna del colector

La NMX-AA-034-SCFI-2015 en su capítulo 11. Interferencias, Hace mención que “la heterogeneidad de la muestra que contiene una o más de dos fases, puede provocar errores durante el muestreo en campo y en la toma de alícuotas”. Aunado a que, parte de los sólidos de la muestra se adhieren a las paredes de los recipientes que los contienen. Se decidió establecer una serie de tamices que controlaran esta heterogeneidad.

Tamiz 1

De acuerdo con la tabla del tamaño de partículas sedimentarias (Tabla 1) los sólidos que pueden estar suspendidos tienen un tamaño menor a 2mm (arenas gruesas), por lo que el primer tamiz fue incluido en la estructura externa del colector, en la sección de la punta, en la cual, se le diseñaron orificios de 5 mm, para evitar el paso solamente del material flotante.

Tamice 2 y 3

Los tamices 2 y 3, se diseñaron de acuerdo con las dimensiones de las redes para colectar la comunidad planctónica, las cuales consisten en filtrar grandes volúmenes de agua de forma horizontal, concentrando la muestra en el copo colector (Ferrario,1995). El diseño de la red es de 1:3, con relación boca- longitud para una mejor eficiencia de filtrado.

Los copos tienen un diseño de forma de trapecio que facilitar la limpieza en ellos. (Granados y colaboradores, 2000)

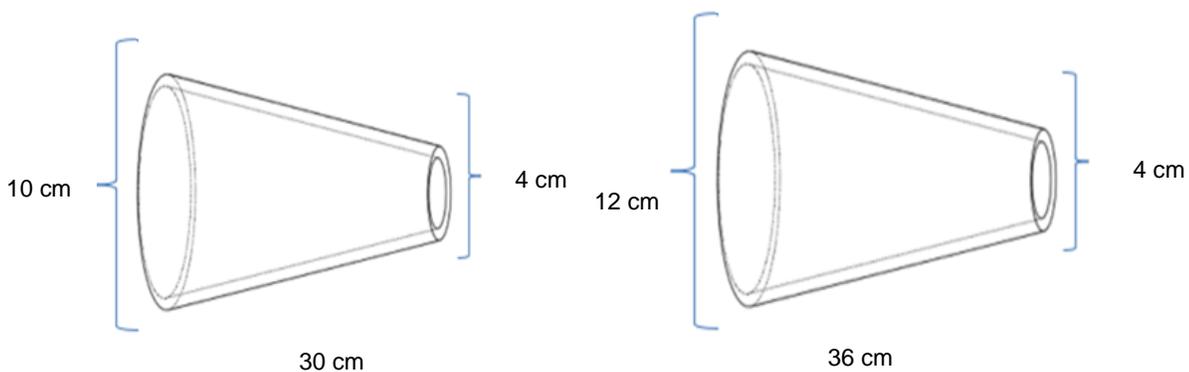


Figura 30. Diseño y medidas de los tamices

TAMIZ 2. El tamaño calculado para este tamiz fue de 10:30 cm, se forró con tela de luz de malla de 0.0625 mm (arenas finas). Para el segundo tamiz se calculó un tamaño de 12:36 cm y fue forrado con tela de luz de malla de la 0.0039 mm (limos finos).

El tamaño de los copos es 8cm x 9cm x 6cm, los dos son iguales, lo único que cambia es el tamaño del poro de la tela.

8.9. Fabricación de los tamices y copos del colector

La fabricación de los tamices fue realizada artesanalmente con lámina de PVC. Elaborando como primer paso una plantilla de cartulina, la cual fue calcada a lamina de PVC y recortado con navaja.

Una vez recortada la pieza, Se calienta para hacer flexible el material y darle la forma de cono con ayuda de una secadora de cabello y cinchos para sujetar la lámina una vez moldeada, dejando enfriar por 12 horas.



Figura 31. Plantilla de cartulina



Figura 32. Calentado el material para moldear.

Pasado las 12 horas, quitamos los cinchos, agregamos pegamento instantáneo a base de cianoacrilato en la unión del pliegue. Dejando secar por 5 horas. Transcurrido el tiempo, se retira los cinchos y con un plumón se traza los pedazos a recortar.



Figura 33. Forma del tamiz

Cuando la estructura del tamiz está terminada, se pega la tela con sellado de policarbonato al PVC, se deja secar por más 24 horas.

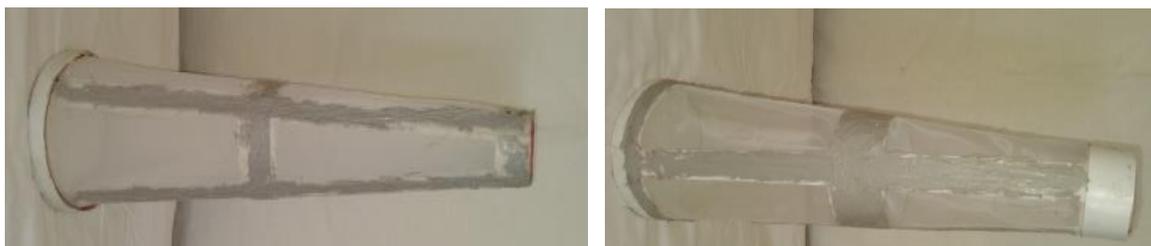


Figura 34. Acabado de los tamices

El modelado de los copos fue realizado artesanalmente, ocupando la misma tela de los tamices, recortando dos formas de trapecio y fueron cocida en máquina industrial.



Figura 35. Terminado de los copos de 0.0625 mm y 0.0039 mm

8.10. Colocaciones de los sensores de turbidez y temperatura del colector

Para cuantificar las partículas menores a .0039 mm se instaló un sensor de turbidez, y para calcular los NTU un sensor de temperatura.

Conexiones del sensor de turbidez a la placa de arduino.

El sensor de turbidez tiene un módulo de salida analógico y digital, conectado a la placa del arduino del pin A0 (mide el voltaje analógico en el rango de 0-5V), 5V (fuente de alimentación codificada para alimentar el microcontrolador y otros módulos en el tablero y 6ND (toma tierra).

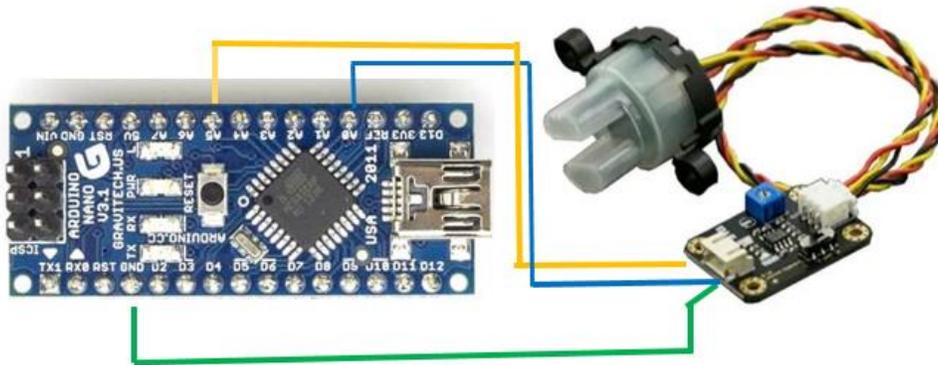


Figura 36. Conexión del sensor a la placa de arduino nano

Conexiones del sensor de temperatura a la placa de arduino nano

El sensor de turbidez va conectado a la placa del arduino del pin a A4 (mide el voltaje analógico en el rango de 0-5V), 5V (fuente de alimentación codificada para alimentar el microcontrolador y otros módulos en el tablero y 6ND (toma tierra).

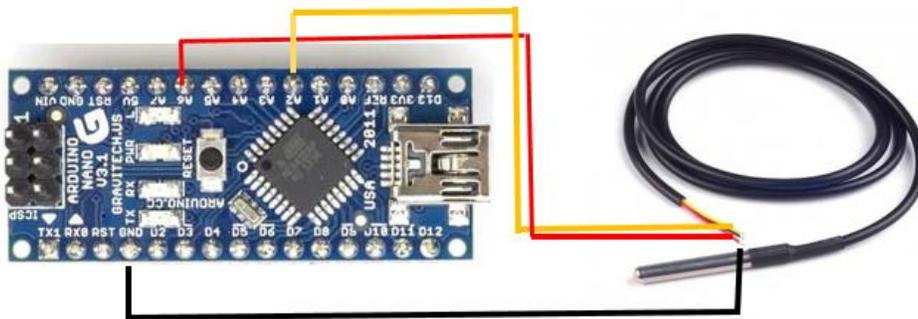


Figura 37. Conexión de sensor de temperatura a la placa de arduino

Conexiones del lector de micro SD y batería de 5 V a la placa de arduino nano

El lector de micro SD conectado los pines GND (tierra), VCC (fuente de alimentación), MISO,

MOSI, SCK (bus SPI, transmisión de información entre circuitos) colocados a la placa de arduino de 5 pines ICSP y CS (pin de señal de selección de chip) al D4.

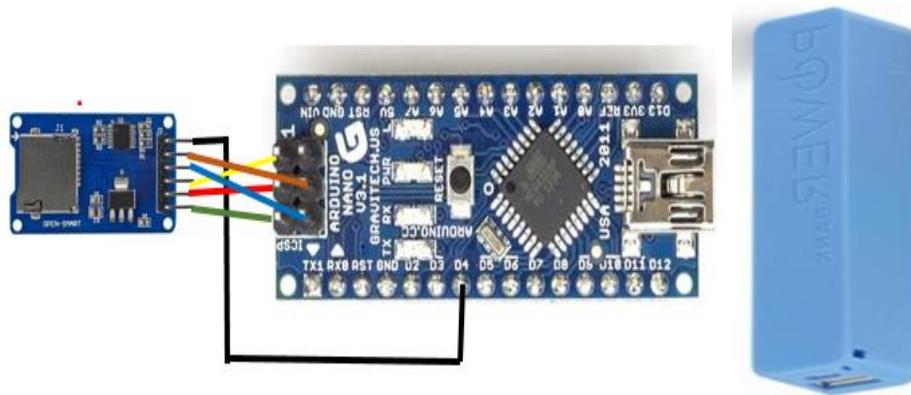


Figura 38. Conexión del lector de micro SD, batería de 5 V a la placa con sistema Arduino nano.

Todas las conexiones utilizan cables dupont comerciales con entradas hembra-macho y hembra-hembra quedando fijo todo el cableado y guardado en una botella Nalgene, que tiene boca ancha con rosca hermética (Nalgene). Para evitar la entrada de agua además se rellenó la botella con tela absorbente, la tapa la se sella con vaselina y la entrada de los cables fueron sellados con pegamento epóxico para evitar entrada de agua.

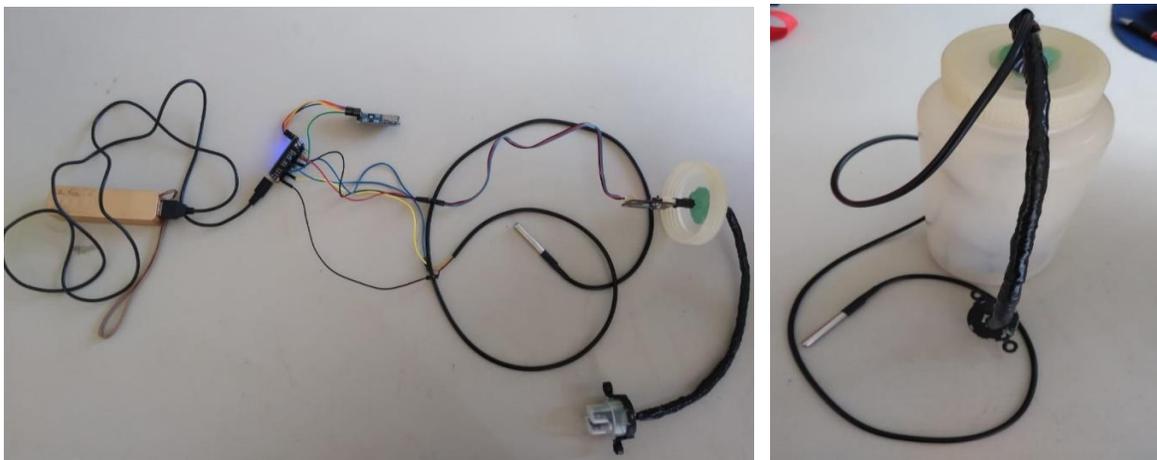


Figura 39. Conexión del sensor de turbidez, temperatura, lector micro SD, pila.

Colocación del sensor al colector

La colocación del sensor fue en la última sección que mide 18 cm aproximadamente, con la ayuda de un cautín se derritió el área donde va colocado el sensor y lijando el sobrante. Se fijó

el sensor con pegamento epóxico a la estructura dejando secar por 48 horas.

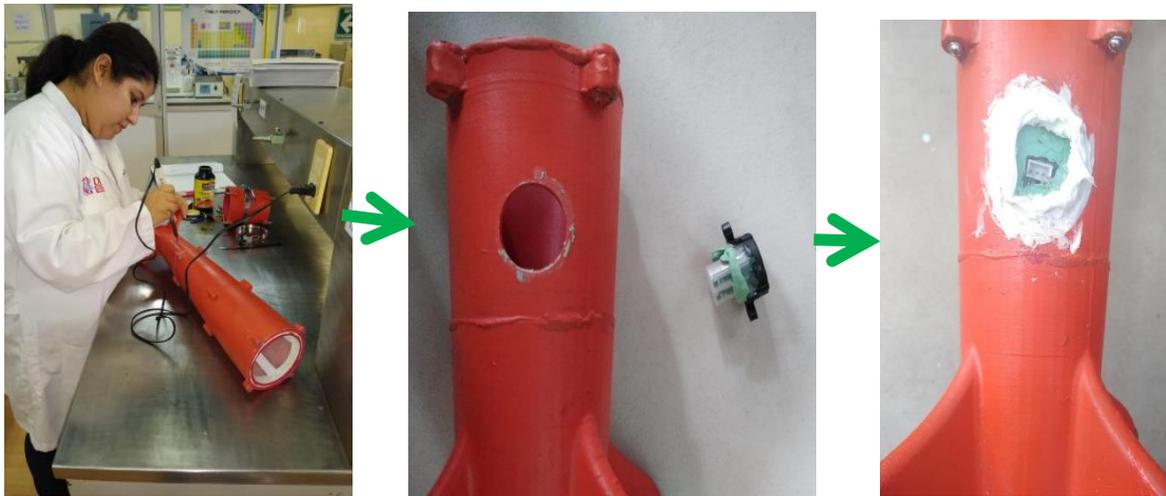


Figura 40. Perforación de la pieza, terminado de la perforación y Colocación del sensor

8.11. Programación del sensor de turbidez en la plataforma de arduino.

Para programar el sensor, se necesita instalar la plataforma de arduino libre, una vez instalado se pasa a la ventana en blanco. Colocar los códigos de la página del proveedor.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); //Baud rate: 9600  
}  
void loop() {  
  int sensorValue = analogRead(A0); // read the input on analog pin 0:  
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0); // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):  
  Serial.println(voltage); // print out the value you read:  
  delay(500);  
}
```

Figura 41. Codificación del sensor de turbidez SEN0189 DFROBOT en la ventana de arduino.

Una vez aceptada el código, seleccionar el icono de herramienta, dar clic en placa de arduino, puerto COM5, procesador: ATmega328 (Old Bootloader). Se Pasa al icono de monitor serie y aparece los valores de 5.00 a .30 que son la variación de voltaje que tiene el sensor y queda programada.

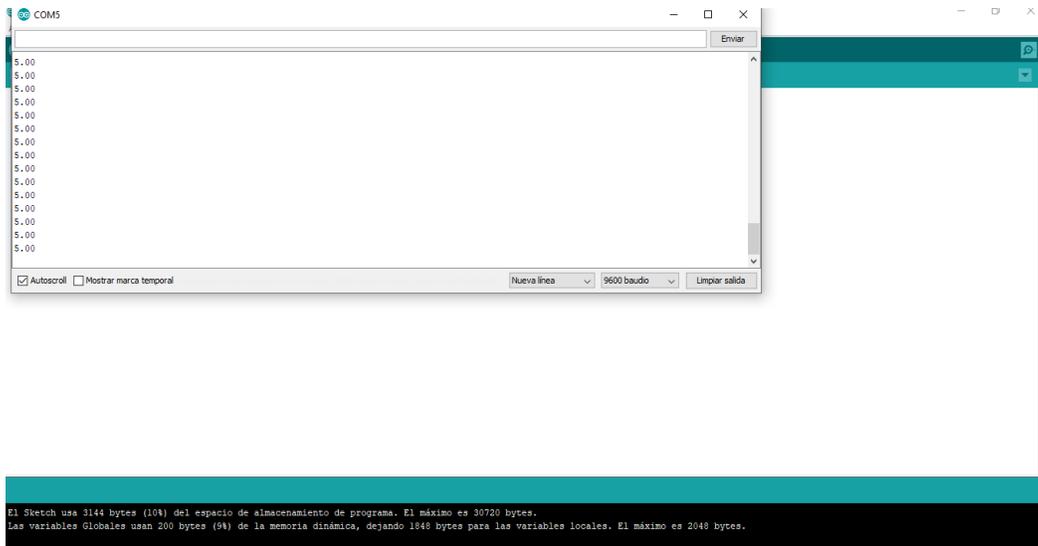


Figura 42. Programación de sensor de turbidez de SEN0189 DFROBOT en la plataforma arduino.

8.11. Programación del sensor de temperatura en la plataforma de arduino.

Para programar el sensor de temperatura, se necesita instalar la plataforma de arduino libre, una vez instalado se pasa a la ventana en blanco. Colocar los códigos de la página del proveedor.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {
  // Iniciamos la comunicación serie
  Serial.begin(9600);
  // Iniciamos el bus 1-Wire
  sensorDS18B20.begin();
}

void loop() {
  // Mandamos comandos para toma de temperatura a los sensores
  Serial.println("Mandando comandos a los sensores");
  sensorDS18B20.requestTemperatures();

  // Leemos y mostramos los datos de los sensores DS18B20
  Serial.print("Temperatura sensor 0: ");
  Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
  Serial.println(" C");
  Serial.print("Temperatura sensor 1: ");
  Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(1));
  Serial.println(" C");
}

```

Figura 43. Codificación del sensor de temperatura DS18B20 en la ventana de arduino.

Una vez aceptado el código, seleccionamos el icono de herramienta, seleccionar la placa de arduino, puerto COM5, procesador: ATmega328 (Old Bootloader). Pasamos al icono de monitor serie y aparece los valores de 50 a 0 que son la variación de voltaje que tiene el sensor y queda programada.

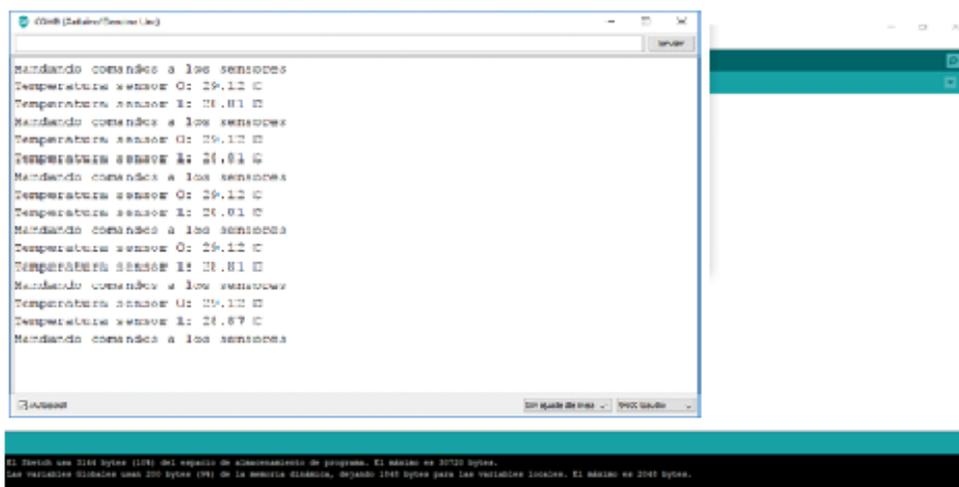


Figura 44. Programación de sensor de temperatura DS18B20 en la plataforma Arduino

9.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Diseño del colector.

El diseño del colector es de tipo modular, El exterior fue diseñado y creado para trabajar en un flujo laminar o turbulento. Su interior se encuentra constituido por una serie tamices rígidos, que van separando y colectando las muestras de acuerdo con el tamaño de las partículas suspendidas, así como, un sensor que cuantifican las partículas menores a 0.0039mm.

9.2. Dimensiones del colector.

Las dimensiones del colector de sólidos en suspensión son de 75 cm de largo, por 13 cm en su parte más ancha con un peso de 1,310 kg. Las dimensiones de las piezas son 9 cm, 14 cm, 16 cm, 18 cm, 18 cm de largo. Uniéndose con pegamento sellado de policarbonato y cianoacrilato, para dejar 4 secciones solamente. tabla 10.

Tabla 6. Secciones dimensiones del colector

Sección	Dimensiones
	Diámetro/largo/Diámetro
Sección 1	50 cm * 9 cm * 9 cm
Sección 2	9 cm * 14 cm * 13 cm
Sección 3	13 cm * 35 cm * 8 cm
Sección 4	8 cm * 17 cm * 5 cm

En resumen, el colector está elaborado con 5 piezas, 2 tamices desmontables, 2 sensores (turbidez y Temperatura), pesa menos de 1.5 kg lo que facilita su manejo y transporte. Para el armado de pieza se utilizan tornillos de 3 mm, con tuerca hexagonal y arandela. Para evitar pérdida de las partículas en las uniones se le colocaron juntas de 1mm de espesor de material PLA.

9.3. Características generales del colector.

El material utilizado para el colector es un filamento ABS, con una impresión al 70 %. Para conocer la flotabilidad del equipo al 70% se aplicó la siguiente fórmula.

$$V = \frac{2}{3} \pi r^3$$

Para conocer el volumen del colector es necesario conocer el volumen de cada sección construida de tal forma que se consideraron dos formas geométricas una semi esfera y el cono truncado, por la forma hidrodinámica del colector.

Obteniendo lo siguiente:

1) Para la forma semiesfera

$$V_1 = \frac{2}{3} \pi * 4.5cm^3$$

$$V_1 = \pi * 60.75cm^3$$

$$V_1 = 190.851 \text{ cm}^3$$

2) Ecuación de cono truncado para obtener el volumen de pieza 2

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + R * r)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi (14 \text{ cm}) ((6.5 \text{ cm})^2 + (4.5 \text{ cm})^2 + (6.5 \text{ cm})(4.5 \text{ cm}))$$

$$\frac{1}{3} \pi (14 \text{ cm}) (42.25 \text{ cm}^2 + 20 \text{ cm}^2 + 29.25 \text{ cm})$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi (14 \text{ cm}) (91.75 \text{ cm}^2)$$

$$V_2 = 14.66 \text{ cm} (91.75 \text{ cm}^2)$$

$$V_2 = 1345.05 \text{ cm}^3$$

2) Ecuación de cono truncado para obtener el volumen de pieza 3 a 5

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + R * r)$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi (52 \text{ cm}) ((6.5 \text{ cm})^2 + (2.5 \text{ cm})^2 + (6.5 \text{ cm})(2.5 \text{ cm}))$$

$$\frac{1}{3} \pi (52 \text{ cm}) (42.25 \text{ cm}^2 + 6.25 \text{ cm}^2 + 16.25 \text{ cm})$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi (52 \text{ cm}) (64.75 \text{ cm}^2)$$

$$V_3 = 14.66 \text{ cm} (64.75 \text{ cm}^2)$$

$$V_3 = 949.23 \text{ cm}^3$$

Volumen total es la suma volumen 1 y 2.

$$V_T = 190.85 \text{ cm}^3 + 1345.05 \text{ cm}^2 + 949.23 \text{ cm}^2$$

$$V_T = 2485 \text{ cm}^3$$

Convertidos cm^3 a m^3

$$V_T = 0.002485 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen total del colector, se necesita conocer la fuerza de flotación que es ejercida en dirección vertical, por encima del centroide del volumen desplazado. Utilizando la siguiente ecuación (Díaz):

$$F_C = \rho g V$$

Siendo que:

F_C , la fuerza de flotación que experimenta el colector,

ρ , densidad del fluido (para el agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$),

g , aceleración gravitacional ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$),

V , volumen de fluido desplazado por el cuerpo.

Después se sustituye los valores de la fórmula de fuerza de flotación

$$F_C = (997 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (0.002485 \text{ m}^3)$$

$$F_C = 24.25 \text{ kg} * \text{m/s}^2$$

Cuando un cuerpo flota libremente desplaza el volumen suficiente de fluido para balancear su propio peso es:

$$W = gm$$

$$W = (9.81 \text{ m/s}^2) (1.310 \text{ kg})$$

$$W = 12.851 \text{ kg} * \text{m/s}^2$$

Es decir, si:

$F_C = W$, el cuerpo se encuentra en un estado de equilibrio hidrostático

$F_C > W$, el cuerpo flota sobre la superficie del fluido.

$F_c < W$, el cuerpo se sumerge.

Con base en los criterios anteriores, la fuerza de flotación es $24.25 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ menor que el volumen desplazado ($12.851 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$), por lo tanto, el equipo se mantiene a flote, sin embargo, el colector se sumerge a $\frac{3}{4}$ de la superficie, debido a porosidad del material que absorbe agua y hace que tenga un mayor peso, lo que provoca un incremento peso por la absorción de agua.

Absorción y deformación del material en diferentes tipos de agua (Purificada, de río y marina).

Para conocer el incremento de peso por absorción y deformación del colector, se imprimió en ABS un cuadro al 70 % que después se cortó en 3 piezas de $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ con un espesor de 0.50 cm. Los cuales fueron colocados en recipiente de cristal de 110 ml de agua fluvial, marina, destilada. Se midieron y pesaron las muestras cada 24 días. Al finalizar el ensayo se observó que el material no se deforma ni se desprendió a pesar de estar impreso al 70%. En cuanto al peso los resultados se pueden observar en la Tabla 7 para los diferentes tipos de agua.

Obteniéndose que la pieza después de 57 días de estar sumergida incrementa su peso por absorción, variando al tipo de agua figura 45,46 y 47.

Tabla 9. Peso y absorción de la pieza

Fecha de Pesaje	Agua fluvial	Absorción de agua	Agua de mar	Absorción de agua	Agua destilada	Absorción de agua
22/11/2019	3.9746 g	0 g	3.9083 g	0 g	3.7129 g	0 g
19/12/2019	3.9755 g	0.0009 g	3.9087 g	0.0004 g	3.7141 g	0.0012 g
17/01/2020	4.2337 g	0.2582 g	4.0981 g	0.1894 g	4.0357 g	0.3216 g
13/02/2020	4.2394 g	0.0057 g	4.1823 g	0.0842 g	4.0548 g	0.0191 g
12/02/2020	4.1867 g	0.0527 g	4.1662 g	0.0161 g	4.8041 g	0.7493 g

Después de 120 días de estar sumergida la pieza en agua fluvial tiene un incremento de peso de 0.2121 gramos, en agua de mar tiene un incremento de 0.25832 g. y en agua destilada tiene un incremento de 1.0912 gramos. En los tres casos cada 57 días vuelve a incrementar su peso, esto puede deberse a la composición química del material y no a su constitución física, porque sus dimensiones no variaron.

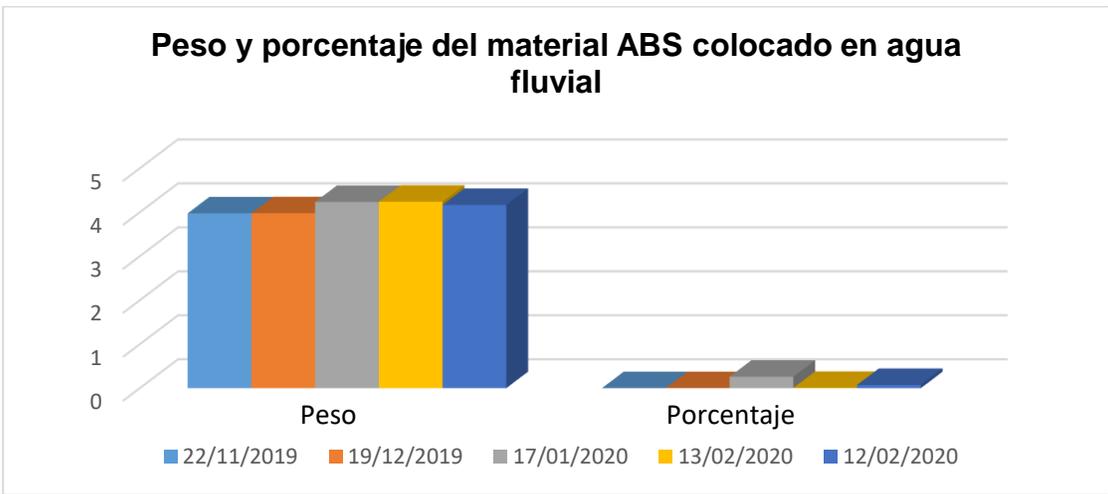


Figura 45. Grafica del peso y absorción de la pieza, colocada en agua dulce

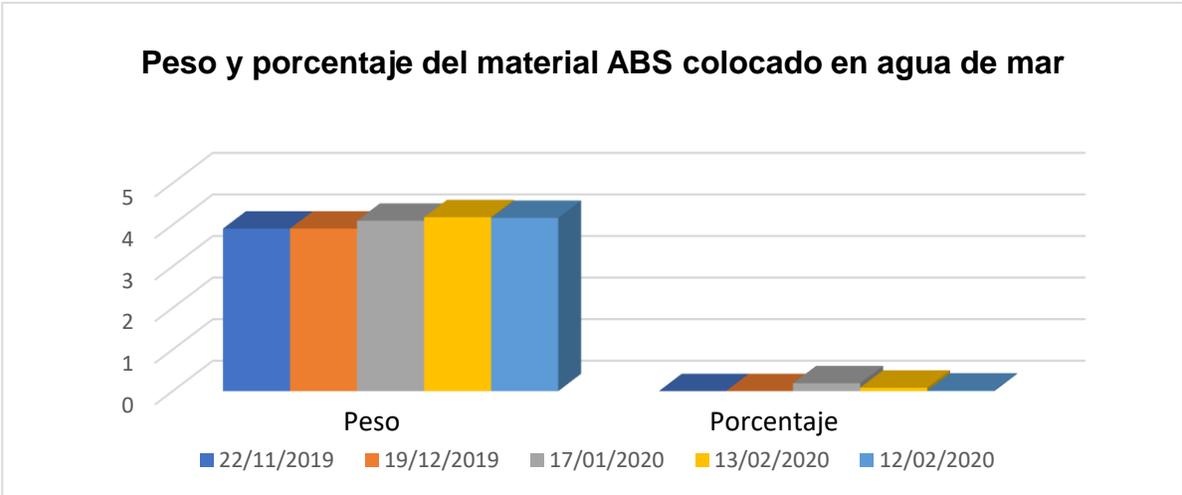


Figura 46. Grafica del peso y absorción de la pieza colocada en agua salada

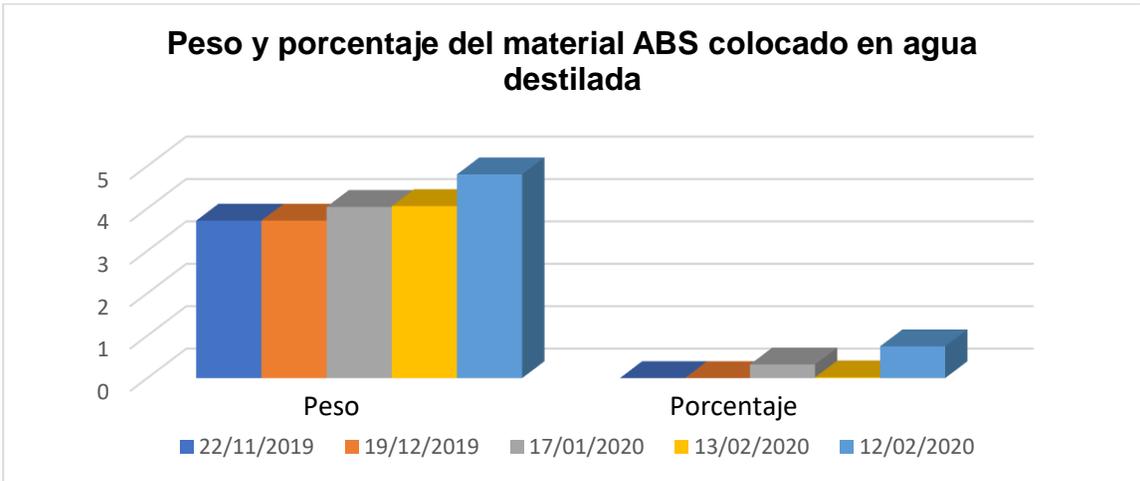


Figura 47. Grafica de absorción de la pieza colocada en agua dulce

Para conocer el coeficiente de absorción en porcentaje se aplica la siguiente fórmula:

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} * 100$$

Ab Coeficiente de absorción
ms masa sumergida
md masa seca

$$A_b = \frac{4.1867 - 3.9746}{3.9746} * 100 = 5.33 \% \text{ agua fluvial}$$

$$A_b = \frac{4.1662 - 3.9083}{3.9083} * 100 = 6.59 \% \text{ agua de mar}$$

$$A_b = \frac{4.8041 - 3.7129}{3.7129} * 100 = 29.38 \% \text{ agua destilada}$$

Observándose que el agua purificada tiene un mayor porcentaje de absorción.

Para conocer el peso (W_f) que tendrá el colector después de sumergirlo durante 57 días en agua fluvial, de mar y destilada. Se multiplica el peso del colector por el coeficiente de absorción más la unidad.

$$W_f = mcs * (1 + A_b)$$

Donde:

mcs = masa seca del colector

A_b =Coeficiente de absorción

a) *agua fluvial*(af) $W_f = 1310 \text{ g} * (1 + .0533)$

$$W_f = 1380 \text{ g}$$

b) *agua de mar*(am) $W_f = 1310 \text{ g} * (1 + 0.0659)$

$$W_f = 1396 \text{ g}$$

c) *agua destilada*(ad) $W_f = 1310 \text{ g} * (1 + 0.2938)$

$$W_f = 1695 \text{ g}$$

Observándose que el colector adquiere mayor peso después de estar sometido 120 días en agua destilada.

Resumiendo, el material ABS aumenta su peso después de 120 días de estar sumergido en agua, la diferencia del coeficiente de absorción entre a_f y a_m es mínima (5.33 %) con respecto al agua destilada (29.38%). La diferencia en peso del peso de colector no varía tanto entre a_m y a_f (15 g) como si lo sumergiéramos en a_f ($a_f = 1380$ g, $a_m = 1396$ g) pero solo después de estar sumergido continuamente en agua.

Para demostrar la compresión que resiste el material ABS al 70 % se realizó una prueba que consiste en someter un esfuerzo axial progresivo hasta llegar a producir una rotura en dicho material, de tal manera que se puede medir la resistencia del material a una fuerza aplicada lentamente. La prueba se realizó en el departamento de ingeniería civil y el resultado es 300 kg/cm (pieza no colocada en agua), 290 kg/cm (pieza colocada en fluvial), 280 kg/cm (pieza colocada en agua de mar) y 280 kg/cm (pieza colocada en agua destilada).

9.4. Flujo volumétrico del colector.

EL flujo volumétrico es la cantidad de agua que pasa por el colector durante un tiempo determinado, para conocer el flujo volumétrico del colector, se utiliza la ecuación:

$$Q = Av,$$

Donde:

A= Área del colector

v= velocidad de flujo.

Para calcular el área del colector, el cual no tiene una forma homogénea se utilizaron dos figuras geométricas de base, el cono truncado se utilizará dos veces por tener diferentes tamaños (para el cuerpo) y una semiesfera (para la cabeza), la ecuación para calcular el área del cono truncado es:

$$A_1 = \pi [g(R+r) + R^2 + r^2]$$

si No se tiene la "g" que se llama generatriz, ocupamos la ecuación:

$$g = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$$

$$g = \sqrt{(6.5 \text{ cm} - 4.5 \text{ cm})^2 + 14 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{(2\text{ cm})^2 + 196 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{4 \text{ cm}^2 + 196 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{4 \text{ cm}^2 + 196 \text{ cm}^2}$$

$$g = 14.14 \text{ cm}^2$$

Una vez obtenida la generatriz, despejamos la ecuación del cono truncado

$$A_1 = \pi[14.14 \text{ cm}^2(6.5 \text{ cm} + 4.5 \text{ cm}) + (6.5 \text{ cm})^2 + (4.5 \text{ cm})^2]$$

$$A_1 = \pi[14.14 \text{ cm}^2(11 \text{ cm}) + 42.25 \text{ cm}^2 + 20.25 \text{ cm}^2]$$

$$A_1 = \pi[155.54 \text{ cm}^2 + 26.5 \text{ cm}^2]$$

$$A_1 = \pi[182.04 \text{ cm}^2]$$

$$A_1 = 571.89 \text{ cm}^2$$

El área uno es para la pieza 2 y para la pieza 3,4 y 5 se realiza las mismas ecuaciones

$$g = \sqrt{(6.5 \text{ cm} - 2 \text{ cm})^2 + 52 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{(4.5 \text{ cm})^2 + 2704 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{4 \text{ cm}^2 + 2704 \text{ cm}^2}$$

$$g = \sqrt{4 \text{ cm}^2 + 2704 \text{ cm}^2}$$

$$g = 52.03 \text{ cm}^2$$

Una vez obtenida la generatriz, despejamos la ecuación del cono truncado

$$A_2 = \pi[52.03 \text{ cm}^2(6.5 \text{ cm} + 2 \text{ cm}) + (6.5 \text{ cm})^2 + (2 \text{ cm})^2]$$

$$A_2 = \pi[52.03 \text{ cm}^2(8.5 \text{ cm}) + 42.25 \text{ cm}^2 + 4 \text{ cm}^2]$$

$$A_2 = \pi[442.25 \text{ cm}^2 + 46.25 \text{ cm}^2]$$

$$A_2 = \pi[488.5 \text{ cm}^2]$$

$$A_2 = 1534.66 \text{ cm}^2$$

Y para calcular el área de a semiesfera se utilizó la siguiente la ecuación:

$$A_3 = 2 * \pi * r^2$$

$$A_3 = 2 * \pi * 4.5 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 127.23 \text{ cm}^2$$

Se suman las áreas

$$A_T = A_1 + A_2$$

$$A_T = 1534.66 \text{ cm}^2 + 571.89 \text{ cm}^2 + 127.23 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 2233.78 \text{ cm}^2$$

Convertir el área total a m²

$$2233 \text{ cm}^2 \left(\frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2} \right) = 0.22 \text{ m}^2$$

Para obtener la velocidad del flujo si se va a muestrear en un río es necesario implementar un flujómetro al colector, sin embargo, en un cuerpo de agua controlado como un estanque podemos calcular la velocidad si medimos el tiempo de muestreo y la distancia recorrida, se puede utilizar la ecuación de la velocidad $V = \frac{d}{t}$,

sustituimos para 300 s y una distancia de 134m:

$$v = \frac{134 \text{ m}}{300 \text{ s}} = .44 \text{ m/s}$$

Ya teniendo el área y volumen se sustituye en la ecuación

$$Q = Av$$

$$Q = (0.22 \text{ m}^2)(.44 \text{ m/s})$$

$$Q = .0968 \text{ m}^3/\text{s}$$

Convertir a m³/s y L/s

$$.0968 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = 96.8 \text{ L/s}$$

El flujo volumétrico del colector sería 96.8 L/s.

9.5. EVALUACIÓN DEL COLECTOR DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

En un embalse artificial

El muestreo se llevó a cabo en un embalse controlado (alberca de 2.2 m* 4.5 m* .75 m de alto), con la finalidad de tener una lectura base, este ambiente es un ambiente en condiciones “naturales (solo sedimento del ambiente), se sumergió el colector durante 5 minutos recorriendo la alberca en forma circular. La tabla 9. muestra los resultados obtenidos.

El sensor registro 128 datos (anexo 1), los cuales utilizando la hoja de cálculo de Excel y considerando que el sensor de partículas tiene una variación de voltaje de 5 a 0 voltios y el sensor de temperatura 0°C a 50°C. Se calcularon los NTU con la siguiente ecuación:

Se sustituyeron en la ecuación de 128 registros dados por los sensores (anexo 1), utilizando la hoja de cálculo Excel, para obtener los NTU.

$$y=7199.64+(-13.37* \text{temperatura}) +(-1555.04*\text{voltaje})$$

Una vez obtenidos los NTU se calcula los mg/l, utilizando la siguiente equivalencia 1 mg/L equivale a 3 NTU (Tecnoconverting, 2018).

Tabla 10. Resultados obtenidos en un ambiente controlado

Copos colectores	Peso copo seco en mg (PCS)	Peso copo con sedimento mg(PCC)	PCC – PCS, en (mg)
0.625 mm (arenas medianas)	3160	4200	1039
0.009 mm (limos)	2852	3211	0359
Sensor			15.25
		Total	1,413.25

El valor obtenido del sensor fue de 1,413.25 mg/ L convertido en 1.41325 g/L.

MUESTREO EN UN EMBALSE NATURAL.

El segundo muestreo se llevó a cabo en un ambiente no controlado, sujeto a impactos antrópicos y escorrentías (laguna interdunaria La ilusión, de Veracruz). El sitio se recorrió un total de 134 m durante 5 minutos para obtener el flujo volumétrico. Durante los 5 min que estuvo sumergido el colector, recolecto en los copos, arenas, limos que fueron secados y pesados, obteniendo su peso total al restarle el peso del copo seco sin muestra, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 13.

Al igual que en muestreo anterior se sustituyeron en la ecuación 128 registros dados por los sensores (anexo 2), utilizando la hoja de cálculo Excel, para obtener los NTU, después convertir a mg/L. Los sólidos en suspensión obtenidos por el sensor fueron de 7806.62 mg/L que convertidos a gramos:

Tabla 11. Resultado obtenido en un ambiente controlado

Copos colectores	Peso copo seco mg (PCS)	Peso del copo con sedimento mg (PCC)	PCC-PCS (mg)
0.625 mm (arenas Medianas-finas)	3161	8100	4939
0.0039mm (limos)	2852	5100	2248
Sensor			619.62
		Total	7806.62

Sumando los pesos de los copos de cada tamiz y el registro del sensor nos da un peso total de 7806.62 mg /L.

Comparando los dos valores (Tabla 1 y 2), se puede observar que el colector respondió a los diferentes ambientes a los que fue sometido.

8. CONCLUSIONES

- El diseño del colector permitió cuantificar sólidos en suspensión, en un cuerpo de agua,
- La forma, el tamaño y material del prototipo lo hacen ligero, de fácil manejo y seguro.
- La validación del diseño del colector mostró que el equipo mantiene la dirección del flujo y es funcional en el filtrado de los tamices y la utilización del sensor para cuantificar los diferentes tamaños de sólidos en suspensión, permitiendo tener un mayor control sobre la heterogeneidad de la muestra, evitando la pérdida de datos al analizarla
- El material de impresión ABS y la lámina de PVC, pueden ser empleado en la fabricación de equipos de muestreo, no se deforma y es de bajo costo.

9. Recomendaciones

- Para un mejor sellado se recomienda un ensamble roscado tipo “hembra-macho” y la reducción a 4 piezas.
- Al momento de imprimir en 3D contar con una fuente alterna de energía, para evitar un corte de luz inesperado que obligue a modificar la impresión.
- El dispositivo funciona sin problema a una impresión del 70%, modificando su peso por absorción después de estar sumergido durante 120 días continuos, sin embargo, si se quisiera disminuir el porcentaje de absorción se recomendaría Imprimir al 100% la pieza de ABS la pieza.

ANEXO.

Anexo 1. Tabla de Excel con los NTU y sólidos en suspensión en un ambiente no controlado.

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
1	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
2	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
3	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
4	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
5	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
6	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
7	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
8	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
9	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
10	4.36	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	18.50	6.17
11	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
12	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
13	4.37	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	2.95	0.98
14	4.35	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	34.05	11.35
15	4.35	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	34.05	11.35
16	4.35	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	34.05	11.35
17	4.35	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	34.05	11.35
18	4.35	30	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	34.05	11.35

19	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
20	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
21	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
22	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
23	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
24	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
25	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
26	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
27	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
28	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
29	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
30	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
31	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
32	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
33	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
34	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
35	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
36	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
37	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
38	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
39	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
40	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35

41	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
42	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35
43	4.35	30	7199.64965	-13.3725313	-1555.04018	34.05	11.35

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
44	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
45	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
46	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
47	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
48	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
49	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
50	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
51	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
52	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
53	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
54	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
55	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
56	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
57	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
58	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
59	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
60	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
61	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35

62	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
63	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L	
64	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
65	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
66	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
67	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
68	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
69	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
70	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
71	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
72	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
73	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
74	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
75	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
76	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
77	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
78	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
79	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35
80	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	-	34.05	11.35

81	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
82	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
83	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
84	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
85	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
86	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
87	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
88	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
89	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
90	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
91	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
92	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
93	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
94	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
95	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
96	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
97	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
98	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
99	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
100	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
101	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
102	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35

103	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
104	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
105	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
106	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
107	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
108	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
109	4.35	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	34.05	11.35
110	4.38	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	0.77	0.26
111	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
112	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
113	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
114	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
115	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
116	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
117	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
118	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
119	4.28	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	156.27	52.09
120	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
121	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
122	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
123	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
124	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72

125	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
126	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
127	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72
128	4.30	29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	125.17	41.72

Anexo 2. Anexo 1. Tabla de Excel con los NTU y sólidos en suspensión en un ambiente no controlado.

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
1	3.26	31	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,715.67	571.89
2	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
3	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
4	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
5	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
6	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
7	3.26	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,702.30	567.43
8	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
9	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
10	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
11	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
12	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
13	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
14	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
15	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
16	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07

17	3.28	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,671.20	557.07
18	3.25	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,717.85	572.62
19	3.25	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,717.85	572.62
20	3.25	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,717.85	572.62

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
21	3.25	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,717.85	572.62
22	3.25	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,717.85	572.62
23	3.25	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,717.85	572.62
24	3.25	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,717.85	572.62
25	3.25	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,717.85	572.62
26	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
27	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
28	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
29	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
30	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
31	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
32	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
33	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
34	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
35	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
36	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45
37	3.15	32	7199.64965	- 13.3725313	- 1555.04018	1,873.35	624.45

38	3.15	32	7199.64965	-	-	1,873.35	624.45
				13.3725313	1555.04018		
39	3.15	32	7199.64965	-	-	1,873.35	624.45
				13.3725313	1555.04018		
40	3.15	32	7199.64965	-	-	1,873.35	624.45
				13.3725313	1555.04018		
41	3.15	32	7199.64965	-	-	1,873.35	624.45
				13.3725313	1555.04018		
42	3.15	32	7199.64965	-	-	1,873.35	624.45
				13.3725313	1555.04018		

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L
43	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
44	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
45	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
46	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
47	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
48	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
49	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
50	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
51	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
52	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
53	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
54	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
55	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
56	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
57	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
58	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45
59	3.15	32	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,873.35	624.45

60	3.15		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,900.10	633.37
61	3.15		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,900.10	633.37
62	3.15		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,900.10	633.37
63	3.15		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,900.10	633.37
64	3.15		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,900.10	633.37

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L	
65	3.00		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	2,133.35	711.12
66	3.00		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	2,133.35	711.12
67	3.00		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	2,133.35	711.12
68	3.00		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	2,133.35	711.12
69	3.00		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	2,133.35	711.12
70	3.10		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,977.85	659.28
71	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
72	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
73	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
74	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
75	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
76	3.10		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,991.22	663.74
77	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
78	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
79	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
80	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
81	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56

82	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
83	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
84	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
85	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56
86	3.11		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,975.67	658.56

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L	
87	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
88	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
89	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
90	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
91	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
92	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
93	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
94	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
95	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
96	3.18		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,866.82	622.27
97	3.18		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,866.82	622.27
98	3.18		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,866.82	622.27
99	3.18		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,866.82	622.27
100	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
101	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
102	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
103	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64

104	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
105	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
106	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
107	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
108	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64

Muestras	Voltaje	Temperatura	Intercepción	Variable X 1	Variable X 2	NTU	mg/L	
109	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
110	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
111	3.16		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,897.92	632.64
112	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
113	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
114	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
115	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
116	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
117	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
118	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
119	3.21		29	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,820.17	606.72
120	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
121	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
122	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
123	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
124	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
125	3.17		30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00

126	3.17	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
127	3.17	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00
128	3.17	30	7199.649651	-13.37253132	1555.040175	1,869.00	623.00

Anexo 3. Precio del dispositivo

Producto	Costo unitario	Costo total
Filamento Zortrax Z-abs para Zortrax M200	\$800	\$ 3,200.00
Sellador Poliuretano Duretan gris 300 ml Pennsylvania	\$110	\$220.00
Tornillo acero inoxidable tipo estufa 1/8×1 1/4"	\$2.10	\$42.00
Tuerca hexagonal 1/8	\$0.80	\$16.00
Arandera plana	\$0.50	\$10.00
Pegamento medium el dorado de 60 ml	\$30.00	\$30.00
Plomo	\$120.00	\$120.00
Abrazadera acero inoxidable 60-84mm	\$34.00	\$34.00
Abrazadera acero inoxidable 80-127mm	\$50.00	\$50.00
Placa con sistema Arduino NANO	\$240.00	\$240.00
Sensor De Turbidez Analógico	\$880.00	\$880.00
1 metro de cuerda de acero galvanizada 3/4"	\$80.00	\$80.00
Cáncamos	\$15.00	\$45.00
Casquillo aluminio 3/4"	\$2.50	\$7.50
Silicon Ferresilicon Sellador Contra Humedad 280ml Pens	\$70.00	\$70.00
Tela Tela de Polipropileno de tejido multifilamento para filtro de 250µ.	\$600.00	\$600.00
Tela Tela de Polipropileno de tejido multifilamento para filtro de 40µ.	\$100.00	\$100.00
Hora hombre	\$10,000	\$10,000
	Total	\$ 15,744.50

REFERENCIA

Acebo González Dayana y Hernández García Armando T. (2012). Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *Ciencias Biológicas*, 44, 1.

Ahmady Birgani Hesam, Agahi Edris, Seyed Javad Ahmadi, Mahdi Erfanian (2018). Fuente de sedimentos Huellas digitales del lago Urmia Dunas de arena. Irán. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18027-0>

Arduino (2019) <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.

Basile Pedro Abel (2018). Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales

Beato. O. Fagundo J.R. González. P (2002). Hidrogeoquímica e Hidrología Isotópica. Cuba. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/3120>

Benjumea Hoyos Carlos A., Suárez Segura Mayra A., Villabona González Silvia Lucía. (2018). Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical. *SciELO*.

Bhateria Rachna, Jain Disha (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustain. Water Resour. Manag.* <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>

Bojorge García Miriam G, Cantoral Uriza Enrique A (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. México. *Scielo*.

Campoblanco Díaz Honorio, Gomero Torres Julia (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. Perú. Instituto de investigación, Volumen 3, pág. 57-63.

Díaz Gutiérrez, Carlos Eduardo, Segovia De Los Ríos, José Armando, Garduño Gaffare Mayra Patricia, Tejeda Vega Samuel. (2012). Medición de caudales mediante la implementación de un vehículo acuático teleoperado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(1), 73-91. Recuperado en 21 de junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100007&lng=es&tlng=es.

Díaz Rodríguez, Lourdes, Torrecillas, Ramón (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. España. <http://hdl.handle.net/10261/4676>.

Diosdado Raul (2014). Manual de arduino programación y conceptos básicos. Creative Commons Corporation

Domínguez Gómez José Antonio, Rodríguez Pérez Daniel, Marcos Martín Cecilia,

Chao Rodríguez Yolanda, Delgado Rojas Gloria (2012). Estudio de aguas continentales mediante teledetección. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Echeverri Londoño Carlos Alberto (2008). Diseño de filtros de talegas. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Venezuela.

Enríquez Herrador Rafael (2009). Guía de Usuario de Arduino. Creative Commons Attribution Noncommercial Share Alike 3.0. USA

Espinoza Ayala Josefina (2001). Proceso de transporte de sedimento de SEMARNAT.Mexico.<https://www.imta.gob.mx/procesos-de-transporte-de-sedimentos>

Ferrario Martha E, Sar Ysilvia Eugenia A, Sala E (1995). Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. Argentina

FitzPatrick, E (1984) Suelos. Su formación, clasificación y distribución. México. Continental.

Flores Coto César, Zavala García Faustino (1993). Nota técnica un nuevo sistema para muestreo simultáneo de zooplancton en varios niveles, para zonas someras. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Univ. Nal. Autón. México

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C (2006). El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. México. Centró Mexicano de Derecho Ambiental, A.C.

Gasc Claude, Bertin Robert (1976) Cimentaciones y obras en recalces. España Técnicos asociados S.A.

Gillespie, Thomas D. (1992). Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society f Automotive Engineers, Inc.

González Ruiz Inmaculada, Matute Martín Pablo (2016). Monitorización de la calidad de aguas pluviales vertidas a cauce público en entornos industriales mediante tecnología low cost. España

Granados Barba, A, Solís Weiss V, Bernal Ramírez R.G (2000). Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica. 17 Capítulos. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 448 pp. ISBN 9683677452.

Guzmán, Luis Villabona, Ángel Tejada, Candelaria García, Rafael. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Revista UDCA : Actualidad & divulgación Científica (Bogotá), 16, No. 1, 253.

Hallsworth C.R, Knox R.W. (1999). BGS Rock classification scheme.

Laino-Guanes, Rafaela María, Bello Mendoza Ricardo, González Espinosa Mario, Ramírez Marcial Neptalí, Jiménez Otárola Francisco, Musálem Castillejos Karim. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 61-74. Recuperado en 17 de junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400004&lng=es&tlng=es.

Lamilla G Julio (2005) Guía para el reconocimiento de: tiburones, rayas y quimeras de Chile. *Oceana* 17

Letchipia Rogelio (2015). <https://3dfactory.mx/filamento-de-impresion-abs-o-pla/>

Márquez Aristide, Guillot Leomarys, Senior William, Martínez Gregorio, González Ángel (2014). Especiación química de fósforo en sedimentos superficiales del golfo de paria y en la costa atlántica venezolana. *Bol. Inst. Oceano. Venezuela*.

Martin, J. (2002). *Ingeniería Fluvial*. Argentina. UPC.

Monroe James S, Wincader Reed y Pozo Manuel (2008). *Geología Dinámica y Evolución de la tierra*. España. Paraninfo.

NMX-AA-034-SCFI-2015 Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba

Norma Oficial Mexicana Nom-001-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Norma Oficial Mexicana NOM-AA-38-1981, Análisis de Agua. -Determinación de turbiedad

Peña Millahual Claudio. (2020). *Descubriendo Arduino*. Miguel Lederkremer.

Quiñones Huatangari, Lenin, Ochoa Toledo, Luis, Gamarra Torres, Oscar, Bazán Correa, José, Delgado Soto, Jorge, Kemper Valverde, Nicolás. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. <https://dx.doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.633>.

Restrepo Ángel Juan Darío (2005). *Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental*. Colombia. Fondo editorial universidad.

Robert, E., Grippa, M., Kergoat, L., Pinet, S., Gal, L., Cochonneau, G. Martinez, J.-M. (2016). Monitoring water turbidity and Surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 243-251. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.016>.

Roth Jeffrey J., Hughes William. (2010). *Dam maintenance and rehabilitation II*. U.S: CRC Pres

RTVE.ES (2008). <https://www.rtve.es/television/20081030/fabrica-ideas-tve-submarino-s-80/185774.shtml>

Rucks L, García F, Kaplán A. Ponce de León J. Hill M (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Uruguay. Manual.

Sáez Sylvia, Lamilla Julio, Pequeño Germán. (2012). Claves taxonómicas, basadas en la morfología de la aleta caudal, para la determinación de tiburones (Chondrichthyes; Elasmobranchii) de las costas de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 47(2), 245-256. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000200007>

Sardiñas Peña Olivia, Chiroles Rubalcaba Sergio, Fernández Novo Marta, Yusaima Hernández Rodríguez Yusaima, Pérez Cabrera Adisbel (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa el cacao. *Cuba. Higiene y sanidad ambiental*, 6, 202-206.

Shang Y, Prins MA, Beets CJ, Kaakinen A, Lahaye Y, Dijkstra Noortje, DS Rits, Bin Wang, Hongbo Zheng, RT van Balen (2018) Suministro de polvo eólico desde la llanura aluvial del río Amarillo hasta los depósitos de loess del Pleistoceno de la meseta de Mangshan, en el centro. China. *Quaternary Science Review*. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.01.00>.

Sheppard, F. P. (1954), "Nomenclature based on sand -silt- clay ratios", *Journal of Sedimentary Petrology*.

Toledo, J, Lemus, M, Chung, K. S. (2000). Cobre, cadmio y plomo en el pez *Cyprinodon dearborni*, sedimentos y agua en dos lagunas de Venezuela. *Venezuela Revista de Biología Tropical*.

United States Environmental Protection Agency (2012). <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms58.html>

Valverde Jorge A Carabias Julia; Mea Ve, Cano Santana zenón Teresa (2005) *Ecología y medio ambiente*. México. Pearson Educación de México.

Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de geología*, 22(37).

Varni Marcelo, Rivas Raúl, Entraigas Ilda (2003). Interacción de un cuerpo de agua superficial con el agua subterránea en la llanura pampeana. Argentina. Researchgate.net

Velasco Vásquez, D. M, Guallichico Loya, D. E, Mantilla Masache, J. A, Wolf Muñoz G. E (2014). Arenas: origen, características, usos y aplicaciones. Ecuador. Las Fuerzas Armadas.

Vidal Silva Cristian, Lineros Matías I, Uribe Guillermo E, & Olmos, César J. (2019). Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software. *Información tecnológica*, 30(6), 377-386. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>