TABLA DE CONTENIDO

1 OBJETIVO GENERAL 4
1. MARCO NORMATIVO 4
2 INTRODUCCIÓN 6
3 ACTIVIDADES PREVIAS 7
3.1 PLANEACIÓN 7
3.2 ALISTAMIENTO 8
3.3 INSPECCIÓN DE EQUIPOS 8
3.4 ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN 11
3.5 MANEJO DE ARCHIVOS 12
3.6 CARTOGRAFÍA PRELIMINAR 13
3.7 EQUIPO DE SEGURIDAD, EQUIPOS MENORES 15
3.8 EQUIPO TÉCNICO “PERSONAL” 16
3.9 PAPELERÍA 17
3.10 LOGÍSTICA 19
4 AFOROS DE CAUDAL 19
4.1 MÉTODO DE MOLINETE O CORRENTÓMETRO. 20
4.2 AFORO POR VADEO. 20
4.3 AFORO POR BOTE. 20
4.4 AFORO DESDE UNA ESTRUCTURA. 20
4.5 PROCEDIMIENTO DE CAMPO 22
5 AFOROS DE CAUDAL SOLIDO 23
5.1 PROCEDIMIENTO DE CAMPO SOLIDOS SUSPENDIDOS 27
5.1.1 Métodos de Muestreo 31
5.2 MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD 34
5.3 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO 36
5.4 CÁLCULOS RESULTADOS Y SALIDAS GRAFICAS 39
6 REFERENCIAS 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cartografía preliminar (Aforos Rio Guayuriba)..... 15
Figura 2 Sentido de la medición..... 29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Perfil de zona de muestreo de sedimentos suspendidos..... 6
Ilustración 2 Muestreador US DH-48..... 9
Ilustración 3 Estructura de archivos..... 13
Ilustración 4 Cartera de campo hidro batimetría..... 17
Ilustración 5 Cartera de campo posicionamiento (GPS)..... 18
Ilustración 6 Formato aforo sedimentos solidos suspendidos..... 18
Ilustración 8 Escala Granulométrica de Udden-Wentworth - Editor Geoxnet. (2018, 1 mayo)..... 25
Ilustración 9 Tipos de sedimentos y procesos de medición..... 26
Ilustración 10 Proceso de levantamiento batimétrico..... 30
Ilustración 11 Diagrama de métodos de muestreos integrados en profundidad..... 32
Ilustración 12 Proceso de muestreo solidos suspendidos integrados..... 33
Ilustración 13 Diagrama general de proceso en laboratorio aforo Solidos..... 37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de programas necesarios en el equipo de cómputo y su uso..... 11
Tabla 2 Herramienta menor de topografía..... 16
Tabla 4 Relación Ancho del canal/número de verticales..... 28
Tabla 5 Adaptado de Características y parámetros de muestreadores de sedimentos suspendidos..... 35
Tabla 6 Adaptado de Tabla de Tiempos de llenado DH-48..... 35

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Procedimiento y toma de aforos sólidos (Sección Rio Guayuriba)..... 23
Imagen 2 Procedimiento de campo para muestreo de solidos suspendidos (Sección Rio Guayuriba)..... 27
Imagen 3 Procedimiento de Rotulado, filtrado y almacenamiento muestras de solidos suspendidos..... 38

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Lista de Chequeo de equipos.
Anexo 2 Formato cartera de campo hidro batimetría.
Anexo 3 Cartera de campo posicionamiento (GPS).
Anexo 4 Cartera de campo aforo solidos suspendidos.
Anexo 5 Manual de levantamiento Batimétrico.
Anexo 6 Ficha Especificaciones técnicas equipos.

UBI VERITAS IBI LIBERTAS
UNIVERSITAS DISTRITALIS FRANCISCIA IOSEPH CALDAS

1 OBJETIVO GENERAL

Describir las actividades para la realización del muestreo de solidos suspendidos en cuerpos de agua, desde la planeación, procedimientos de campo, laboratorio, oficina, para la determinación de resultados y salidas gráficas, que sirvan como insumo para determinar las características de caudal solido en cuerpos de agua, mediante la utilización del equipo muestreador US DH-48.

1. MARCO NORMATIVO

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico fue formulada por el entonces el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el año 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), con el objetivo de orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional bajo un criterio de gestión integral, considerando el agua como un factor de desarrollo económico y de bienestar social e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

La Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico ha generado estrategias, normas, guías y procesos de articulación, incluyendo:

- Resolución 1433 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre planes de saneamiento y manejo de vertimientos, y se adoptan otras determinaciones (MAVDT, 2004).
- Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (MADS, 2018a).
- Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (MADS, 2014).
- Definición del Protocolo de monitoreo del agua, en conjunto con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -Ideam (Ideam, 2007), asociado al monitoreo de la calidad y la cantidad del agua, a través de la actualización del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (Pnmrh).
- Estructuración de la Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales (MADS, 2018a).

- La Política para la Gestión Sostenible del Suelo (MADS, 2016)
- Decreto 2041 de 2014, hoy compilado en el Decreto 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015). Licenciamiento Ambiental.
- Resolución 957 de 2018 del MADS, “Por la cual se adopta la Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones
- Resolución 1519 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017b), se establece que la caracterización del área de influencia deberá incluir la “caracterización del régimen sedimentológico natural de la cuenca aferente al cauce principal.
- Norma internacional *ISO 748 de 2007*

UNIVERSIDAD DISTRITAL

2 INTRODUCCIÓN

La metodología planteada en el siguiente manual es precedida de una serie de procesos de tipo técnico y logístico que van encadenados uno al otro y que implican: la planeación, el alistamiento, la recolección eficiente de datos, el procesamiento de estos datos, sus posteriores cálculos y salidas graficas.

El siguiente manual contienen tanto las explicaciones teóricas como de procesos de campo y oficina que se realizan para el muestreo de aforo de caudal solido suspendido con muestreador DH-48, el cual complementa los levantamientos batimétricos (Ver Anexo 5 Manual de Procedimientos CIGMAP) con el fin de conocer diversas características del cuerpo de agua. Cada proceso está acompañado por esquemas explicativos e imágenes que permitirán una interpretación directa y fácil en cada uno de los pasos.

El contenido del manual se ha dividido en tres grandes títulos: planeación, procedimientos de campo, finalmente, los procesos posteriores a la toma de datos en campo. Cada componente está directamente relacionado con los otros y son parte de la misma articulación: para el aforo de caudal solido sedimentos suspendidos mediante el muestreador DH-48.

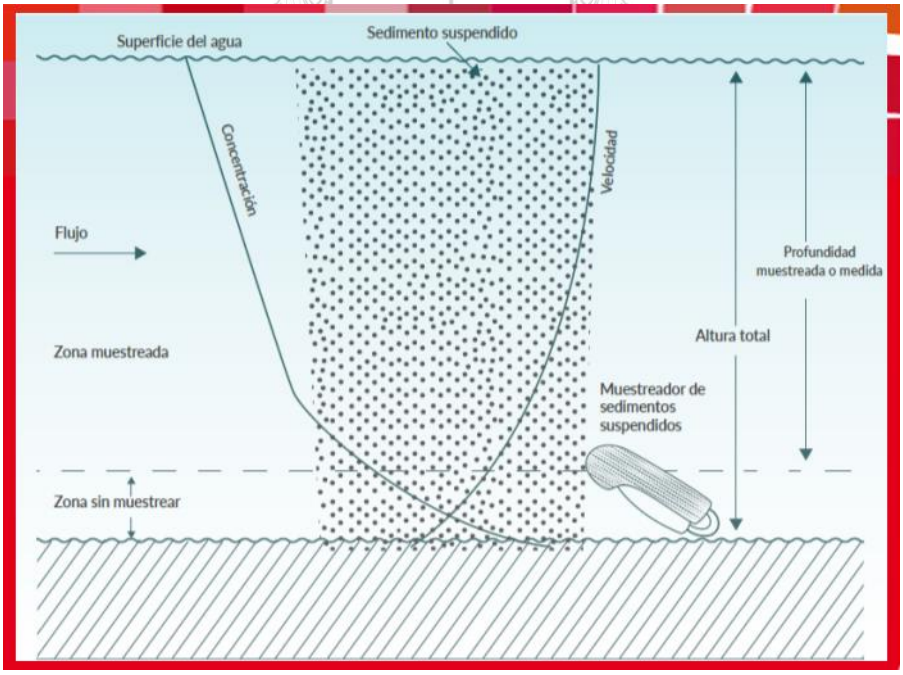


Ilustración 1 Perfil de zona de muestreo de sedimentos suspendidos

Fuente: (Ideam, Invemar, 2021)

3 ACTIVIDADES PREVIAS

3.1 PLANEACIÓN

Se deben identificar mediante cartografía, imágenes de satélite o de manera visual en el lugar de aforo elementos que garanticen la calidad de los procedimientos para la toma de muestras de sedimentos solidos suspendidos relevantes, se debe destacar la reducción de errores, la selección de los lugares de muestreo requiere la evaluación de las condiciones y variaciones geométricas tanto longitudinales como transversales. *(Ideam, Invemar, 2021)*

Por tanto, es útil identificar los siguientes criterios:

- El cuerpo de agua debe estar libre de obstrucciones que cambien las condiciones normales de la corriente tales como, rocas grandes, barras, desechos orgánicos, escombros, vegetación.
- La velocidad relativa de la corriente debe ser uniforme en la sección transversal.
- Evitar sitios donde en la corriente aguas arriba de la sección transversal de aforo se impidan el transporte natural de sedimentos por medio de actividades como, presas de castores, estructuras artificiales.
- La sección transversal de aforo no debe estar situada aguas abajo de una fuente de sedimentos o de una zona de vertimiento que no permita una mezcla adecuada, lo que da lugar a una distribución desigual de los sedimentos en la recolección de muestras. *(Vide, 2004)*

Para la captura de información de caudales solidos suspendidos es necesario tener como base el levantamiento topo batimétrico de las secciones transversales y su respectivo aforo de caudal líquido, estos procedimientos se realizan para determinar las características geométricas como la longitud de la sección transversal, profundidad, elevación del lecho, elevación de la lámina de agua, perímetro y área mojados. *(Ideam, Invemar, 2021)*

También se deben determinar las características físicas como la velocidad laminar, la velocidad de fondo y la velocidad media del cuerpo de agua, a partir de la velocidad media se realizan el procedimiento para la toma de solidos suspendidos por medio del muestreador US DH-48. los parámetros in situ son relevantes, pero no determinantes por lo tanto se pueden tomar antes o después del muestreo de solidos suspendidos, algunos de estos parámetros son los siguientes, temperatura, conductividad, ph. *(Ideam, Invemar, 2021)*

3.2 ALISTAMIENTO

En este capítulo se definirán los materiales, equipos, formatos, y demás elementos, así como la inspección, verificación de funcionamiento y parámetros de calidad que garanticen el procedimiento de muestreo de sedimentos suspendidos con el muestreador US DH-48 es una de las revisiones que se debe llevar con mayor detenimiento, fijándose que cada uno de los equipos lleve los accesorios completos (cables de datos, cargadores, baterías, etc.), que estén en pleno funcionamiento y que sean los necesarios para llevar a cabo cada uno de los procesos en campo. *(FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-DH-48, 2018)*

A continuación, se enumeran cada uno de los equipos necesarios y sus componentes en formato de lista de chequeo para control en campo: (Ver Anexo 1 Lista de Chequeo equipos)

3.3 INSPECCIÓN DE EQUIPOS

En el caso de la **ESTACIÓN TOTAL** se debe revisar su pleno funcionamiento: paso-lentos, burbujas de nivelación, lentes. Al mismo tiempo los seguros del trípode.

De la misma forma se recomienda que haya un bastón de 5 m para medir las profundidades de la batimetría y otro de 3 m que permita un manejo más cómodo en terreno. Estos bastones deben estar perfectamente aplomados.

Probar con anterioridad cargadores y cables de transferencia. *(CIGmap SAS, 2014)*

En el caso de las **ANTENAS GPS** deben revisarse los seguros del bípode, el plomo del bastón, al tiempo que debe verificarse el funcionamiento del cable del cargador y el de transferencia de datos. *(CIGmap SAS, 2014)*

Para el **HIDRÓMETRO** *(CIGmap SAS, 2014)* debe cerciorarse antes de la salida el pleno funcionamiento del sensor y la transferencia a la PDA. Además, revisar que el hidrómetro reciba la carga necesaria, siempre fijarse el tipo de unidades en que el aparato tiene programada la medición. Es necesario por seguridad verificar el pleno funcionamiento de la cámara y los equipos de comunicación, o radios, así como sus cargadores y cable de transferencia.

En el caso del **EQUIPO PORTÁTIL**, *(CIGmap SAS, 2014)* además de revisar que el cargador, el mouse, el módem y otros equipos periféricos estén en funcionamiento, es necesario tener en cuenta que se cuente con los programas (software) necesarios para la descarga de datos.

MUESTREADOR USDH-48	
ESPECIFICACIONES	
COMPONENTE	*DETALLE*
Peso:	4.5 Libras
Precisión	3 1/2 pulgadas o 8.89 cm sobre el lecho del rio
Velocidad de Muestreo:	1 a 9 pies/segundo o 0.30 a 2.7 metros/ segundo
Profundidad de muestreo:	9 pies o 2.7 metros
Capacidad de Muestreo	420 ml Max
Suspension	Barra de vadeo
Boquilla:	Ø 1/4", 3/16" 1/8" de pulgada o 6.3, 4.8 3.2 centimetros
Dimensiones	**Instrumento:** longitud: 9 5/8 pulgadas o 25 cm sin boquilla Ancho:3 3/16" pulgadas o 8.00 cm Alto: 3 7/8" pulgadas o 10 cm **Barra de suspension:** Extensible **Botella contenedora:** 1 Pinta 473 ml o 500 ml para Colombia **Boquilla:** 5 Centimeros
Materiales:	**Instrumento:** Aluminio **Barra de suspension:** Acero de 1/2 pulgada **Botella contenedora:** Plastico **Boquilla:** Nylon



Ilustración 2 Muestreador US DH-48

Fuente: CIGmap 2023

Recomendaciones del fabricante para el **MUESTREADOR DH-48** debe inspeccionarse el cuerpo del muestreador para detectar daños y piezas faltantes. *(FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-DH-48, 2018)*

- Ambos extremos del puerto de escape deben estar despejados y sin obstrucciones.
- Las bandas de rodadura en el orificio de la boquilla y el receptáculo de la varilla de vadeo deben revisarse para detectar decapados (tratamiento superficial de metales para eliminar impurezas tales como manchas contaminantes inorgánicos) y obstrucciones.
- Revisar el área del asiento de la junta dentro de la cabeza del muestreador para detectar rebabas y obstrucciones que interfieran con el asiento de la junta.
- También se deben inspeccionar la boquilla del muestreador, la junta de la botella, el recipiente del muestreador y la varilla de vadeo.

- Las boquillas de plástico producidas por FISP para el muestreador DH-48 de EE.UU. están teñidas de amarillo y las boquillas de latón están estampadas con los números "48".
- La boquilla debe estar recta sin signos visibles de daño.
- El orificio también debe inspeccionarse para determinar si es recto y para detectar cualquier signo de rebabas o deformidad.
- FISP recomienda juntas de neopreno para el muestreador DH-48 de EE.UU.
- Si la junta es dura al tacto, rota o deformada hasta el punto de que no cabe al ras en el área del asiento de la junta del muestreador, debe desecharse y reemplazado por una junta nueva.
- La junta se coloca a presión a mano en el asiento en la cabeza del muestreador. Si la junta está en buenas condiciones, debe permanecer en su lugar una vez que se presiona contra el asiento.
- Una botella de leche de vidrio de 1 pinta es el recipiente de muestra recomendado para el muestreador US DH-48. Debe inspeccionarse en busca de grietas o astillas y debe limpiarse antes de ir al campo.
- Las botellas agrietadas deben ser reemplazadas. Se puede usar una botella con un área astillada si no perjudica la solidez de la botella y el chip no está en el área de la boca de la botella y evitaría un sellado adecuado con la junta de la botella.

En general para todos los equipos se debe realizar la inspección de manera visual y de acuerdo con las recomendaciones dadas por el fabricante con el fin de garantizar el funcionamiento y la calidad de la información tomada en campo.

3.4 ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Como veremos más adelante, el procedimiento en campo incluye la recolección y descarga de datos al equipo portátil de manera diaria, por esta razón el equipo debe contar con cada uno de los programas necesarios para la descarga. *(CIGmap SAS, 2014)*

A continuación, una relación de los diferentes programas y su uso:

Tabla 1 Relación de programas necesarios en el equipo de cómputo y su uso.

Fuente: CIGmap SAS.

SOFTWARE PARA EL EQUIPO DE COMPUTO	
SOFTWARE	**USO**
TOPCON LINK	Descarga de datos crudos de estación total, procesa y reduce datos, genera archivos en diferentes formatos para diferentes plataformas y programas de dibujo.
PCCDU	Descarga de datos crudos de antenas receptores satelitales en formato TPS
TOPCON TOOLS	Convierte datos crudos a formato rinex para postproceso y ajuste.
FILEZILLA	Descarga de archivos rinex de la red MAGNA ECO de IGAC
MAGNA SIRGAS PRO	Convierte, transforma y calcula coordenadas y alturas de acuerdo a las necesidades de cada proyecto. Aplicativo Oficial para el manejo de coordenadas en Colombia
AUTOCAD	Software de diseño asistido por computadora para realización de salidas graficas 2D y 3D.
ARCGIS	Conjunto de software que proporciona herramientas para el mapeo y el razonamiento espacial permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.
Office	Conjunto de programas informáticos para la creación, edición, almacenamiento y transmisión de información.
Agisoft Metashape	Software de procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D que se pueden utilizar en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG)
HEC-RAS	(Hydrological Engineerinng Center - River Analysis System) programa de modelizacion Hidráulica unidimensional para simulacion de flujos en cauces naturaleso canales artificiales.

3.5 MANEJO DE ARCHIVOS

Uno de los aspectos importantes y que debe aclararse con antelación es la manera como se organizarán y recogerán archivos para un futuro proceso. Del orden en el almacenamiento depende el éxito de los cálculos y el proceso posterior. *(CIGmap SAS, 2014)*

En este caso se debe trabajar, de ser posible, en un disco o partición diferente a la unidad /C: La distribución de carpetas se realizará de la siguiente manera:

1) Dentro de la unidad crear una carpeta llamada /TRABAJO:
2) Dentro de la carpeta /TRABAJO: se crea una carpeta que llevará el nombre del cliente /NOMBRE DEL CLIENTE:
3) Dentro de la carpeta /NOMBRE DEL CLIENTE, se creará una nueva que será nombrada con el nombre del proyecto: /NOMBRE DEL PROYECTO:
4) Dentro de la carpeta /NOMBRE DEL PROYECTO: Se creará una nueva que será nombrada con la fecha del día que se realizaron y descargaron los datos: /FECHA:
5) Dentro de esta última se crearán tantas carpetas cuántos cuerpos de agua se hayan medido ese día, y cada una se nombrará de acuerdo a cada cauce medido: /Cuerpo de Agua 1: / Cuerpo de Agua 2: … / Cuerpo de Agua *N*:
6) Dentro de cada una de estas carpetas se crearán nuevas carpetas de archivos, la para datos GPS, datos estación, datos de batimetría y aforos, Archivos CAD, Archivos ArcGIS, Archivos HEC-RAS, Resultados de laboratorio, Informe, Registro fotográfico, Información Base, Tablas resumen, y una última para la Bibliografía en la cual se almacenan los documentos, normas, manuales y guías que aportaron a la construcción del referente teórico de cada uno de los proyectos.

La garantía que la recolección de los datos y el almacenamiento de archivos se haga de manera exitosa está en la descarga diaria de los datos y en el uso adecuado de la nomenclatura. El modelo de almacenamiento de archivos está diseñado para evitar al máximo cualquier tipo de confusión. *(CIGmap SAS, 2014)*

La estructura del manejo de archivos se da de manera general por tanto cada proyecto es particular y su estructuración debe actuar en concordancia a los propósitos de cada uno añadiendo subcarpetas o eliminando subcarpetas vacías de acuerdo a la estructura determinada en el siguiente esquema. *(CIGmap SAS, 2014)*

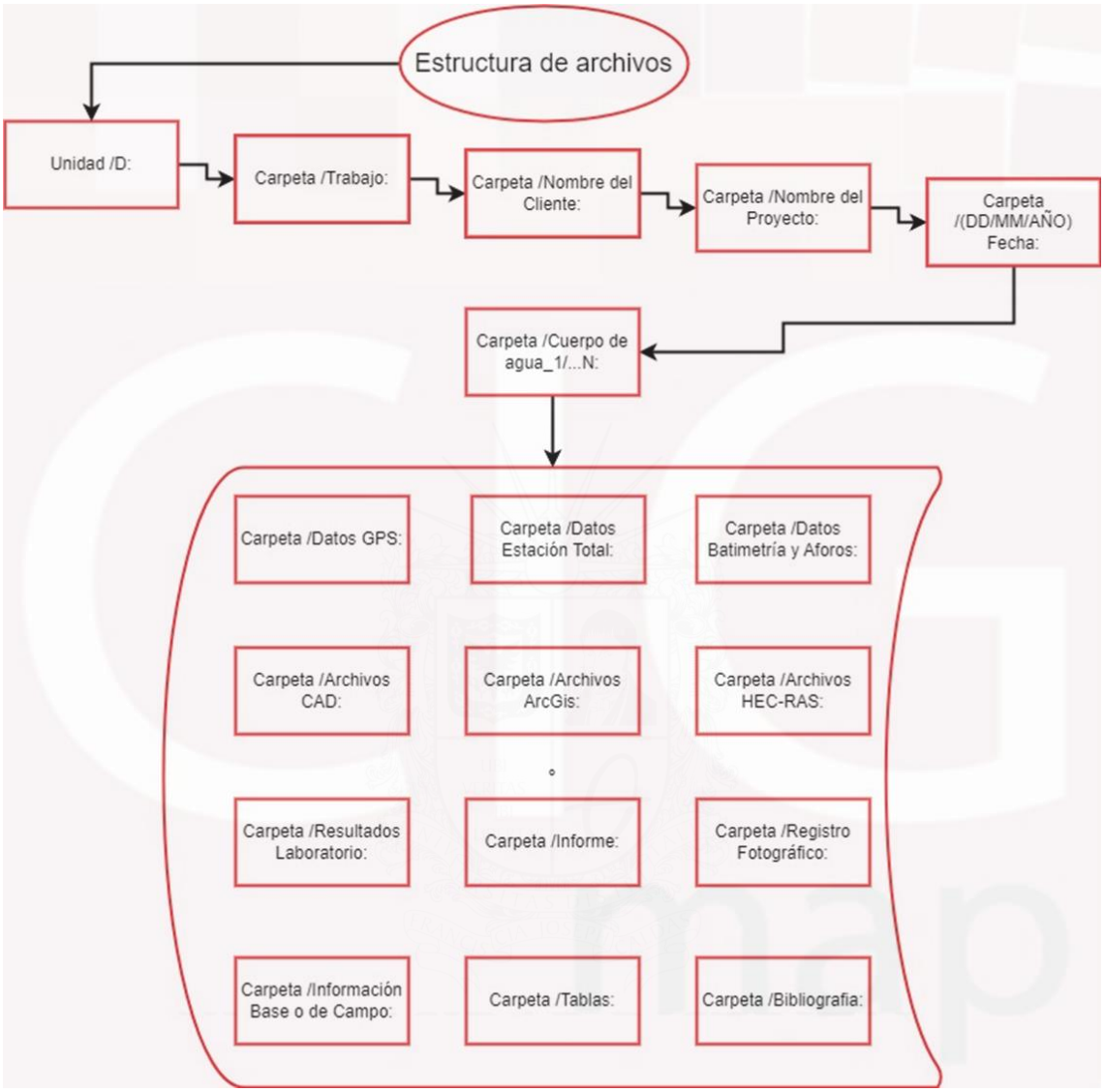


Ilustración 3 Estructura de archivos

Fuente: CIGmap SAS. 2023

3.6 CARTOGRAFÍA PRELIMINAR

La cartografía preliminar es uno de los principales insumos a la hora de la planificación logística. A través de ella podemos generar accesos a los puntos donde se llevará a cabo el procedimiento, identificar vías, lugares más apropiados donde ejecutar el aforo, centros poblados cercanos, lugares importantes como estaciones de

policía, de carga de combustible, hospitales. La cartografía puede también definir zonas de seguridad para el desplazamiento y ejecución de los trabajos. *(CIGmap SAS, 2014)*

La cartografía preliminar se genera a partir de la información geográfica que se obtenga por parte del cliente. A partir de esto se montan los puntos para la realización del procedimiento hidro batimétrico en el software ArcGIS, subiendo los drenajes sencillos y dobles e identificando las obstrucciones, meandros para encontrar un espacio que reúna las mejores características para realizar el procedimiento. *(CIGmap SAS, 2014)*

La Cartografía debe llevar la nomenclatura de cada uno de los puntos a tomar en el estudio, además verificar lugares, nombres de centros poblados, vías, el nombre de las veredas o algún tipo de toponimia que permita identificar rápidamente lugares. *(CIGmap SAS, 2014).* Se debe imprimir en formato de medio pliego y, en la medida de lo posible, llevar copias en tamaño carta. El nombre o nomenclatura que se le vaya a dar a los puntos es el que determina el orden y coherencia en la recogida y posterior procesamiento de datos. Garantizar el orden y el lenguaje común en la manera como se bautizan los puntos es el primer indicador de éxito en el desarrollo de las actividades. Para este caso la nomenclatura se basa en tres componentes primordiales: el nombre del cauce, el abscisado (de existir) y si está aguas arriba (A) o aguas abajo (B). Así, la nomenclatura estaría dada por las dos primeras iniciales del cauce, abscisa en número y AR o AB si es aguas arriba o aguas abajo. De tal manera que, si tenemos un punto en el Río Magdalena ubicado 6 Kilómetros abajo, la nomenclatura resultante sería:

MA - 06 - AB, donde:

- MA: Inicial del nombre del cauce
- 06: Abscisa Km
- AB: Aguas abajo

En caso que el levantamiento no se realice en función a un abscisado se tendrán en cuenta las iniciales del cauce y el ID del punto. Es decir que el quinto punto sobre el río cauca se llamaría:

CA - 5, donde

- CA: Iniciales del nombre del cauce
- 5: El ID del punto (quinto punto)

Esta nomenclatura debe tener correspondencia en todos los procesos y niveles del levantamiento. De tal manera que la nomenclatura que aparece en la cartografía es la misma con que se bautiza el archivo de estación, la misma que va diligenciada en los formatos, y la misma nomenclatura que tendrán los sucesivos archivos y procesos. Esta nomenclatura, además, como se verá más adelante, se usará para nombrar

cada uno de los puntos en cada uno de los procedimientos, de tal manera que la nomenclatura del punto sea igual tanto en los formatos, como en la cartografía preliminar, en la información recolectada por los equipos y en el manejo de archivos del equipo portátil de cómputo.

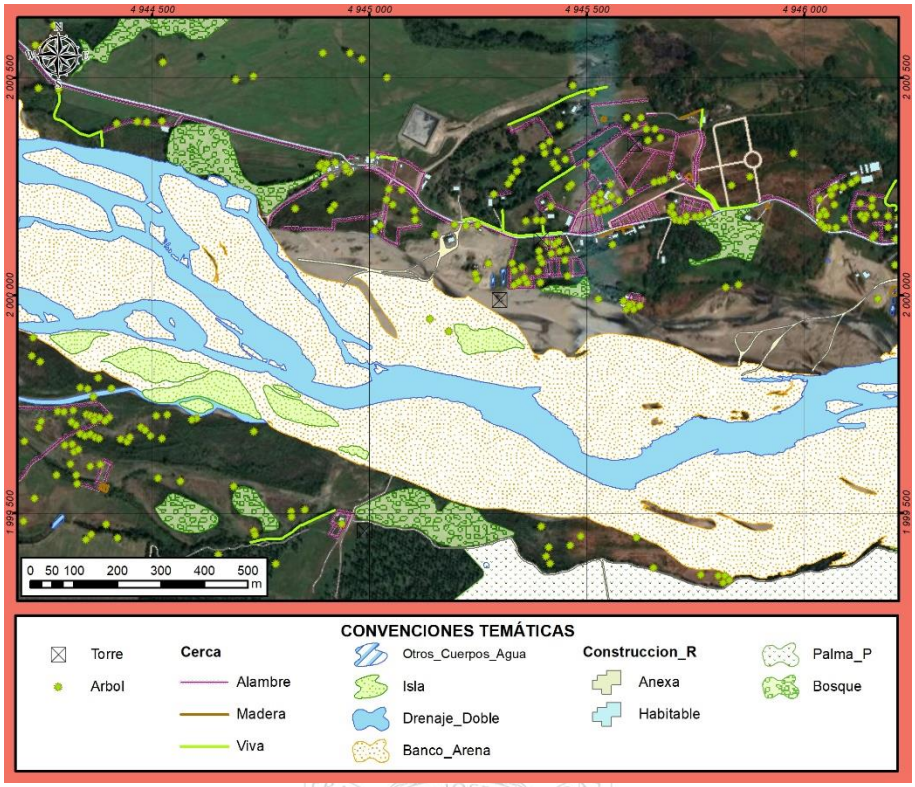


Figura 1 Cartografía preliminar (Aforos Rio Guayuriba).

Fuente: CIGmap SAS.

3.7 EQUIPO DE SEGURIDAD, EQUIPOS MENORES

(CIGmap SAS, 2014) Cada integrante del equipo debe contar con un equipo básico que incluye guantes, gafas solares, casco, botas overol, chalecos flotadores para el trabajo en agua. Además, toda la comisión debe contar con un arnés, una eslinga y línea de vida para trabajo en alturas. El botiquín de primeros auxilios es un componente vital dentro del equipo de seguridad.

Dentro de los equipos menores está el navegador de mano (GPS), es importante al igual que con los otros equipos menores llevar suficientes baterías de repuesto. Todos los puntos donde se va a llevar a cabo procedimientos deben cargarse al navegador con anterioridad de tal manera que sea el mismo quien nos guie a los puntos estando una vez en campo.

Como general mente se desconocen las condiciones de campo se debe llevar una extensión eléctrica y una multi toma, es importante encargarse de la organización de la taquera y la herramienta menor que la compone, verificar su estado. Una taquera de campo debe tener como mínimo los siguientes elementos.

Tabla 2 Herramienta menor de topografía.

Fuente: CIGmap SAS. 2014

HERRAMIENTA MENOR	
CANTIDAD	**ELEMENTO**
1	MASETA
3	FLEXOMETRO
2	PINTURA SPRAY
3	MACHETE
1	CINTA METRICA
2	LIMA
2	PLOMADA DE CENTRO
1 /Lb	PUNTILLAS

3.8 EQUIPO TÉCNICO “PERSONAL”

Una comisión mínima para desarrollar un levantamiento hidro batimétrico se compone mínimo de tres técnicos topógrafos de campo. Cada uno de los técnicos se encargará de la operación y manejo de los archivos de cada equipo, de tal manera que haya un técnico de la estación total, que también se encargará de descargar y editar las carteras diariamente; un técnico de las antenas (GPS); y un técnico para el manejo de los aforos por medio de hidrómetro, muestreador US DH-48, quien además se encargará de tabular la información correspondiente y del manejo del equipo.

Más adelante se profundizará de aspectos específicos de campo. Además del equipo mínimo se debe contar con la contratación de personal de la zona que sirvan como auxiliares, trocheros, baquianos e incluso intermediarios con la comunidad. Todo personal de nivel operativo, técnico o profesional que participe en estos procedimientos debe conocer en su totalidad este manual. *(CIGmap SAS, 2014)*

3.9 PAPELERÍA

Además de la cartografía y la programación impresa se debe tener en cuenta los tipos de formatos que se utilizan para los procedimientos

- Cartera de campo hidro batimetría
- Cartera de campo posicionamiento (GPS)
- Cartera de campo aforos

PROYECTO	NOMBRE DEL PROYECTO (EJEMPLO CPO 17)	NOMENCALTURA (EJEMPLO MAB)	CORRIENTE SUPERFICIAL NOMBRE DEL RIO O CAÑO	NATURAL___ ARTIFICIAL___	
FECHA	FECHA EN LA QUE REALIZA EL AFORO			CERRADO___ ABIERTO_X_	
MUNICIPIO	EL MAS CERCANO VEREDA VEREDA DEL PROYECTO		LATITUD	COORDENADAS NAVEGADAS	
OPERARIO	NOMBRE COMPLETO DEL OPERARIO DEL EQUIPO	COORDENADAS (WGS)	LONGITUD	COORDENADAS NAVEGADAS	HOJA 1 DE _2_
EQUIPO	MARCA Y SERIAL DE LA ESTACION O GPS		ELEVACIÓN	COORDENADAS NAVEGADAS	
HORA INCIO	DEL AFORO HORA FINAL DEL AFORO	ABCISA	EN CASO NECESARIO	ARCHIVO (EST)	ARCHIVO CREADO EN LA ESTACION

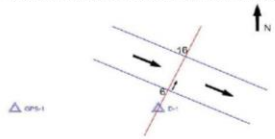
LEVANTAMIENTO DE LA SECCIÓN

Nº PUNTO	DIST. ORILLA	DESCRIPCION
		EN ESTOS CAMPOS DEBE IR LA DESCRIPCION DEL PUNTO MEDIDO CON LA ESTACION O CON EL GPS
1		DELTA 1 ALTURA INSTRUMENTAL (1.568 m)
(2-3)		GPS-1
(4-5)		TERRENO NATURAL
6		LAMINA DE AGUA
(7 - 15)		PUNTOS DE NIVEL
16		LAMINA DE AGUA
(17-19)		TERRENO NATURAL
20		GPS-2

INFORMACIÓN DEL AFORO (CAUDAL)

EQUIPO:	MARCA DEL HIDROMETRO	SERIAL :	SERIAL DEL HIDROMETRO	OPERARIO:	NOMBRE COMPLETO DEL OPERARIO DEL HIDROMETRO
Nº PUNTO	VEL. (F/S) (M/S)	PROFUNDIDAD (m)	TIEMPO(sg)	DIST. ORILLA	REVOLUCIONES
7		20% 60% 80%	20 s	DESDE LA LAMINA DE IZQUIERDA A DERECHA	
8		20% 60% 80%	20 s		
9		20% 60% 80%	20 s		
10		20% 60% 80%	20 s		
11		20% 60% 80%	20 s		
12		20% 60% 80%	20 s		
13		20% 60% 80%	20 s		
14		20% 60% 80%	20 s		
15		20% 60% 80%	20 s		

PLANTA (Señalar Norte , Sentido de Flujo, Sentido de la Sección , Anmada y Gps).



PERFIL (OBSERVADOR AGUAS ABAJO)

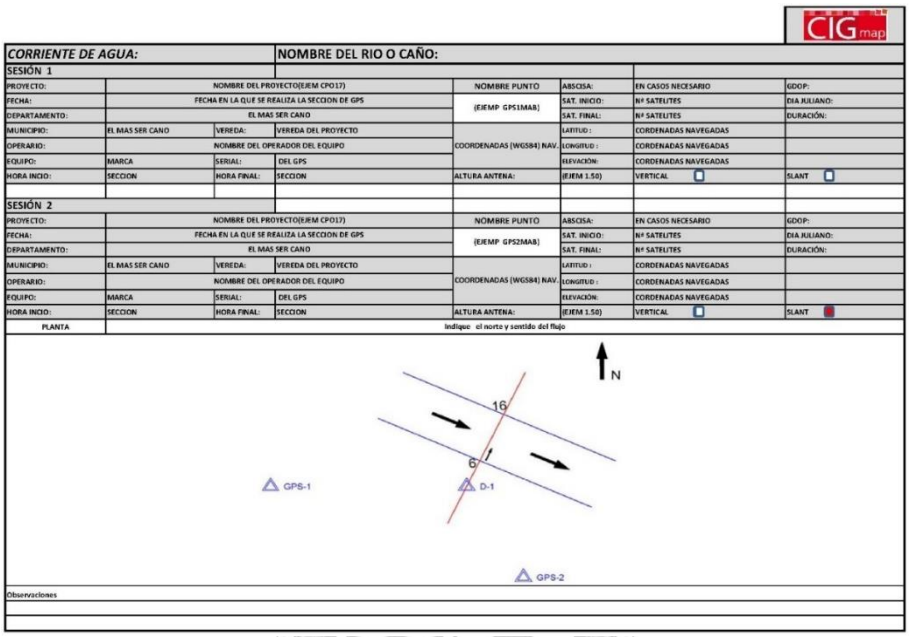


DESCRIPCIÓN EN ESTE CAMPO DEBE IR CONSIGNADA INFORMACION RELACIONADA CON CLIMATOLOGIA, TIPOS DE RIOS Y DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS MISMOS

EJEMPLO : RIO DE LECHO ARENOSO, QUE PRESENTA CANTOS RODADOS CON DIAMETROS SUPERIORES A DOS METRO. LA ZONA PRESENTA LLUVIAS APROXIMADAMENTE DESDE HACE QUINCE DIAS

Ilustración 4 Cartera de campo hidro batimetría

Fuente: CIGmap SAS 2023



CORRIENTE DE AGUA:			NOMBRE DEL RIO O CAÑO:				
SESIÓN 1							
PROYECTO:	NOMBRE DEL PROYECTO(EJEM CP017)			NOMBRE PUNTO	ABSCISA:	EN CASOS NECESARIO	GDOP:
FECHA:	FECHA EN LA QUE SE REALIZA LA SECCION DE GPS			(EJEMP GPS1MAB)	SAT. INICIO:	Nº SATELITES	DIA JULIANO:
DEPARTAMENTO:	EL MAS SER CANO				SAT. FINAL:	Nº SATELITES	DURACIÓN:
MUNICIPIO:	EL MAS SER CANO	VEREDA:	VEREDA DEL PROYECTO		LATITUD :	CORDENADAS NAVEGADAS	
OPERARIO:	NOMBRE DEL OPERADOR DEL EQUIPO			COORDENADAS (WGS84) NAV.	LONGITUD :	CORDENADAS NAVEGADAS	
EQUIPO:	MARCA	SERIAL:	DEL GPS		ELEVACIÓN:	CORDENADAS NAVEGADAS	
HORA INCIO:	SECCION	HORA FINAL:	SECCION	ALTURA ANTENA:	(EJEM 1.50)	VERTICAL ☐	SLANT ☐
SESIÓN 2							
PROYECTO:	NOMBRE DEL PROYECTO(EJEM CP017)			NOMBRE PUNTO	ABSCISA:	EN CASOS NECESARIO	GDOP:
FECHA:	FECHA EN LA QUE SE REALIZA LA SECCION DE GPS			(EJEMP GPS2MAB)	SAT. INICIO:	Nº SATELITES	DIA JULIANO:
DEPARTAMENTO:	EL MAS SER CANO				SAT. FINAL:	Nº SATELITES	DURACIÓN:
MUNICIPIO:	EL MAS SER CANO	VEREDA:	VEREDA DEL PROYECTO		LATITUD :	CORDENADAS NAVEGADAS	
OPERARIO:	NOMBRE DEL OPERADOR DEL EQUIPO			COORDENADAS (WGS84) NAV.	LONGITUD :	CORDENADAS NAVEGADAS	
EQUIPO:	MARCA	SERIAL:	DEL GPS		ELEVACIÓN:	CORDENADAS NAVEGADAS	
HORA INCIO:	SECCION	HORA FINAL:	SECCION	ALTURA ANTENA:	(EJEM 1.50)	VERTICAL ☐	SLANT ☐
PLANTA	Indique el norte y sentido del flujo						

Observaciones

Ilustración 5 Cartera de campo posicionamiento (GPS).

Fuente: CIGmap SAS 2023

FORMATO AFORO DE CAUDAL SOLIDO					
PROYECTO	Nombre proyecto	PUNTO: VERTIMIENTO	NOMBRE CAUCE:	Nombre del cuerpo de agua	
FECHA	Fecha de aforo		COORDENADAS MAGNA NACIONAL	NORTE	Coordenada Norte
MUNICIPIO	Nombre Municipio	Hora inicio		ESTE	Coordenada Este
VEREDA	Nombre Vereda	Hora fin		ELEVACIÓN	Elevacion msnnm

INFORMACIÓN AFORO CAUDAL SOLIDOS SUSPENDIDOS								
EQUIPO		US-DH-48	ANCHO (m)		COTA INF. (m)		PROF. (m)	
SUB-SECCIÓN	VELOCIDAD	DISTANCIA ENTRE SUB-SECCION	CAUDAL LIQUIDO	VOLUMEN INTEGRADO	PESO NETO	CONCENTRACIÓN MEDIA	TRANSPORTE	TRANSPORTE
	(m/s)	(m)	(m³/s)	(ml)	(g)	(Kg/m3)	(Kg/s)	(TON/DIA)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Longitud Total (m)			Volumen Total (ml)			CAUDAL SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Qs (TON/DIA)		
DESCRIPCIÓN :								

Ilustración 6 Formato aforo sedimentos solidos suspendidos

Fuente: CIGmap SAS 2023

3.10 LOGÍSTICA

El esquema de logística siempre es contingente, es probable que se someta a cambios de acuerdo a las condiciones de campo. Sin embargo, es probable prevenir ciertos aspectos como desplazamiento o seguridad. La planeación de desplazamientos es seguramente uno de los elementos que más van a cambiar, la información cartográfica puede mostrar las vías, pero no su estado o condiciones de desplazamiento. El vehículo que se utilice para estos desplazamientos debe contar con las mejores condiciones mecánicas. *(CIGmap SAS, 2014)*

Se requiere siempre de la elaboración de un directorio telefónico de campo que debe contar mínimo con los números de contacto de:

- Director de proyecto CIGMAP en Bogotá
- Jefe de operaciones del cliente, en campo (si lo hay)
- Centro de control del cliente (si lo hay)
- Personal de contacto del cliente en la zona
- Línea directa de la policía o ejército más cercana
- Número de atención de emergencias médicas más cercano

Es probable que en algunos puntos las distancias y accesos sean complicados. Es necesario prever hidratación y viáticos suficientes para más de un día en caso de ser necesario. Por las mismas razones debe prevenirse de llevar una planta eléctrica, linternas y demás accesorios útiles en sitios muy alejados o de difícil acceso y salida.

El plan de trabajo o programación es un documento que se realiza para controlar el avance de los procedimientos de acuerdo a rendimientos condicionados a unas fechas específicas. No en todos los casos se va a llevar al pie de la letra, lo más probable es que esto no ocurra; por lo tanto, la programación permite determinar el ritmo de trabajo, ajustar las metas propuestas, evaluar la eficiencia y controlar costos directos. Lo ideal es ceñirse a la programación, sin embargo, se hace la salvedad que es un documento de control en la mayoría de los casos. *(CIGmap SAS, 2014)*

4 AFOROS DE CAUDAL

El aforo de caudal es un procedimiento hidrométrico que permite medir la velocidad en punto específico en una época dada. Para la toma de medición de velocidades existen diversas metodologías que se explicarán a continuación. *(Ideam, Invemar, 2021)*

4.1 MÉTODO DE MOLINETE O CORRENTÓMETRO.

Este método de aforo se usa cuando la corriente del río es pequeña, poco profundo y de fondo estable, de tal manera que se disponga una línea de vida transversal al cauce y que servirá de guía y seguridad para la medición de velocidades. *(Ideam, Invemar, 2021)* En todo proceso de aforo, incluso por vadeo, se debe llevar el equipo de seguridad completo, incluido el chaleco salvavidas. La eslinga debe ir sujeta a la línea de vida y el técnico de aforo debe portar el arnés.

4.2 AFORO POR VADEO.

Este método de aforo se usa cuando la corriente del río es pequeña, poco profundo y de fondo estable, de tal manera que se disponga una línea de vida transversal al cauce y que servirá de guía y seguridad para la medición de velocidades. En todo proceso de aforo, incluso por vadeo, se debe llevar el equipo de seguridad completo, incluido el chaleco salvavidas. La eslinga debe ir sujeta a la línea de vida y el técnico de aforo debe portar el arnés. *(Ideam, Invemar, 2021)*

4.3 AFORO POR BOTE.

Este método se usa para ríos relativamente caudalosos en donde también se usa la línea de vida transversal a la dirección del cauce, que servirá de anclaje al bote y permitirá la estabilidad a la hora de la medición. *(Ideam, Invemar, 2021)*

4.4 AFORO DESDE UNA ESTRUCTURA.

Este puede ser a). Desde un puente si el rio es caudaloso; b). Desde una pasarela si el rio es más pequeño y c). Desde un carro aéreo sostenido por una estructura para ríos pequeños pero profundos. Independientemente del método que se use, se debe tomar en cuenta la técnica para el número de muestras de acuerdo con la norma ISO 748 de 2007.

- **MEDICIÓN DE UN PUNTO O DE 6/10:** Este método se realiza cuando no es posible realizar la medición al 80% de la profundidad. para lo cual debe tomarse la medición al 60% de la profundidad por debajo de la superficie o

nivel del agua, la velocidad media coincide con la velocidad a 0.6H de la profundidad. *(Ideam, Invemar, 2021)*

$$V\,m = V\,(0.6 * H)$$

Ecuación 4.4.1

V m: velocidad media
H: profundidad total

- **MEDICIÓN DE DOS PUNTOS:** Este método es más exacto. La medición de las velocidades se realiza al 20% y al 80% de la profundidad y el promedio aritmético de ambos se considera como la velocidad media vertical.

$$V\,m = \frac{V\,(0.2*H) + V(0,8*H)}{2}$$

Ecuación 4.4.2

V m: velocidad media
H: profundidad total

- **MEDICIÓN DE TRES PUNTOS:** Se aplica para profundidades de tirantes mayores a 0.75 metros y cuando la velocidad del flujo es alterada por existencias de objetos en el cauce. Las velocidades son determinadas al 20% y al 80% de la profundidad. *(Ideam, Invemar, 2021)*

$$V\,a = \frac{V\,(0,2*H) + (V\,*0,8H)}{2}$$

Ecuación 4.4.3

$$V\,m \quad \frac{V\,a + (V\,*0,6H)}{2}$$

Ecuación 4.4.4

V m: velocidad media
Va= promedio externo de velocidad
H: profundidad total

4.5 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Los procedimientos descritos son tomados según las directrices de la norma internacional *ISO 748 de 2007* para la medición de aforos de caudal, la cual se fundamenta en la medición de lecturas de velocidad y profundad de la lámina del cuerpo de agua objeto de estudio, en estas condiciones se obtiene un caudal partiendo de mediciones de velocidad y área de la sección transversal, que al multiplicarlas dan como resultado una unidad de flujo, la cual se puede establecer en L/s o m^3/s.

Como primera medida se debe seleccionar una sección uniforme donde el flujo se encuentre estable y no se observe estrangulamiento del mismo, tratando de evitar al máximo la turbulencia; lo ideal es una sección recta alejada de cualquier curva que altere su comportamiento natural.

Se debe levantar la sección transversal seleccionada, tomando la profundidad de la lámina de agua a diferentes distancias horizontales (no superior al 20% del ancho del canal medido según norma ISO 748 de 2007). El levantamiento de la sección se debe realizar de izquierda a derecha estando el observador en sentido contrario al flujo de la corriente. Los datos reportados en campo se reportan en los formatos utilizados para tal fin.

Lo que persigue esta metodología es determinar el caudal parcial en cada uno de los tramos o sub-áreas determinadas por el levantamiento batimétrico de la sección transversal, para lo cual es necesario determinar la velocidad media en cada uno de los tramos. Estas velocidades son tomadas a lo largo de la línea media de cada tramo independiente de los métodos a utilizar para la toma de dichas velocidades.

En cada punto de nivel tomado en el lecho se debe sumergir el sensor, o disponer la hélice, de acuerdo al equipo utilizado; de esta manera cada punto de aforo queda referenciado geográficamente, tanto en posición horizontal como vertical. Debe cuidarse que el equipo esté en la dirección correcta y que permanezca en posición de lectura el tiempo necesario mínimo para que el equipo realice el promedio de velocidades y arroje el resultado óptimo.

El operador de equipo de medición de velocidad debe consignar las velocidades y el número de punto correspondiente al del levantamiento. De la misma manera, los formatos deben nombrar los puntos de aforo de acuerdo con la nomenclatura propuesta en el numeral 2.2 de este manual.

5 AFOROS DE CAUDAL SOLIDO



Imagen 1 Procedimiento y toma de aforos sólidos (Sección Rio Guayuriba).

Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional, el sedimento es todo “material transportado por el agua desde su lugar de origen al de depósito. En los cursos de agua, son los materiales aluviales llevados en suspensión o como arrastre de fondo”. *(Ideam, Invemar, 2021)*

La medición de los sedimentos se realiza mediante la determinación de la concentración del material en suspensión en el agua y mediante la determinación del transporte, la Concentración se refiere a la cantidad de sólidos que se encuentran en una unidad de solución (sólido + líquido), esta se expresa en partes por millón (ppm), o en peso de sólido por unidad de volumen líquido, es decir una parte por millón (1 ppm) es igual a 1 miligramo por litro (mg/l) y a 0,001 kg/m3. *(Ideam, Invemar, 2021)*

El transporte de sedimentos es la cantidad de sólidos que transporta una corriente en la unidad de tiempo, y se obtiene con base en muestreo de sedimentos. El transporte total comprende tanto el sedimento que se traslada suspendido en la corriente como el que viaja arrastrándose o rodando por el fondo. El transporte de arrastre de fondo se mide directamente con muestreadores especializados para este fin y se expresa

generalmente en m3/día. El transporte de sedimentos en suspensión se refiere a la cantidad de sólidos o sedimentos suspendidos que pasan por la sección de una corriente en una unidad de tiempo, se expresa generalmente en Ton/día o kg/s. *(Ideam, Invemar, 2021)*

Los sedimentos se clasifican según su modo de transportarse de la siguiente manera:

De fondo: depósitos de materiales en el lecho del río.

De arrastre de fondo: materiales que se deslizan o ruedan por el lecho de un río por acción de la velocidad de la corriente, formando rizos y dunas.

En saltación: es el material procedente del fondo constituido por las partículas más finas, que en un momento dado adquiere la suficiente energía para abandonar el lecho, mantenerse en suspensión durante algún tiempo y caer más adelante.

En suspensión: conformado por las partículas de menor tamaño que se mantienen suspendidas por efecto de la turbulencia de la corriente y se mueven a velocidad similar a la del flujo. *(Ideam, Invemar, 2021)*

Clasificación de los sedimentos según su tamaño:

Gruesos (gravas y arenas)
Finos (arenas finas, limos y arcillas).

Clasificación de Suelos - Atterberg	
Dimensión de la partícula elemental (mm)	**Atterberg (Sistema Internacional)**
< 0,001	Arcilla
< 0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena Fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava Fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y Piedras
> 20,0	

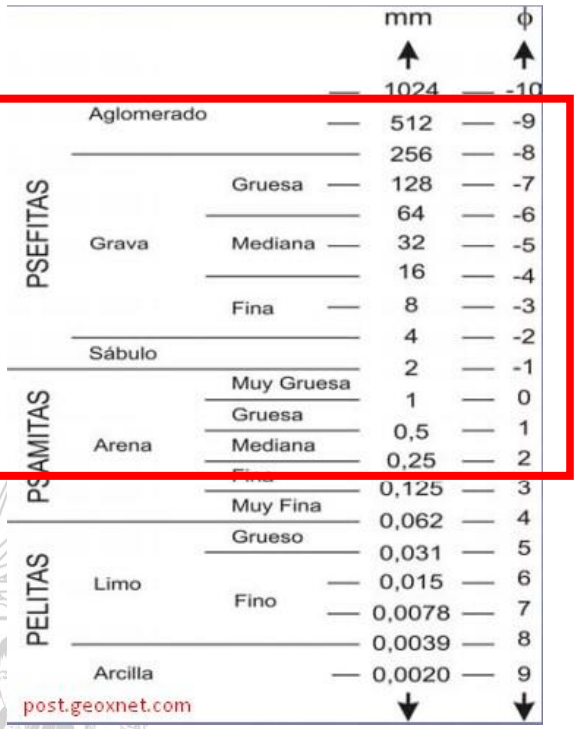


Ilustración 7 Escala Granulométrica de Udden-Wentworth - Editor Geoxnet. (2018, 1 mayo).

Fuente: (Griem, 2020)

El depósito de las psefitas se produce en el seno de aguas torrenciales o de glaciares, ya que otro tipo de agente de transporte no posee la energía suficiente para el gran tamaño de las partículas que la forman. (Griem, 2020)

Las rocas psamíticas los granos en su forma también contiene informaciones acerca del origen de la roca. Los granos de arena sufren abrasión, si se tocan entre sí mediante el transporte en los corrientes, se pierden sus canteras destacadas y su aspecto angular, y se vuelven redondos. Simultáneamente tienden a formas más esféricas. Los granos de estas características fueron transportados largas distancias. Los granos angulares de varias formas indican distancias de transporte cortas. *(Griem, 2020)*

Con base en el aforo del arrastre de fondo y en el caudal líquido diario, se puede estimar un registro continuo del caudal de arrastre de fondo, mediante una calibración entre caudal de arrastre y caudal líquido. *(Ideam, Invemar, 2021)*

En recolección de muestras relevantes, se debe destacar la reducción de errores, la selección de los lugares de muestreo requiere la evaluación de las condiciones y

variaciones geométricas tanto longitudinales como transversales. Por tanto, es útil identificar los siguientes criterios:

- El cuerpo de agua debe estar libre de obstrucciones que cambien las condiciones normales de la corriente tales como, rocas grandes, barras, desechos orgánicos, escombros, vegetación.
- La velocidad relativa de la corriente ser uniforme en la sección transversal
- Evitar sitios donde en la corriente aguas arriba de la sección transversal de aforo se impidan el transporte natural de sedimentos por medio de actividades como, presas de castores, estructuras artificiales.
- La sección transversal de aforo no debe estar situada aguas abajo de una fuente de sedimentos o de una zona de vertimiento que no permita una mezcla adecuada, lo que da lugar a una distribución desigual de los sedimentos en la recolección de muestras. *(Edwards & Glysson, 1999)*

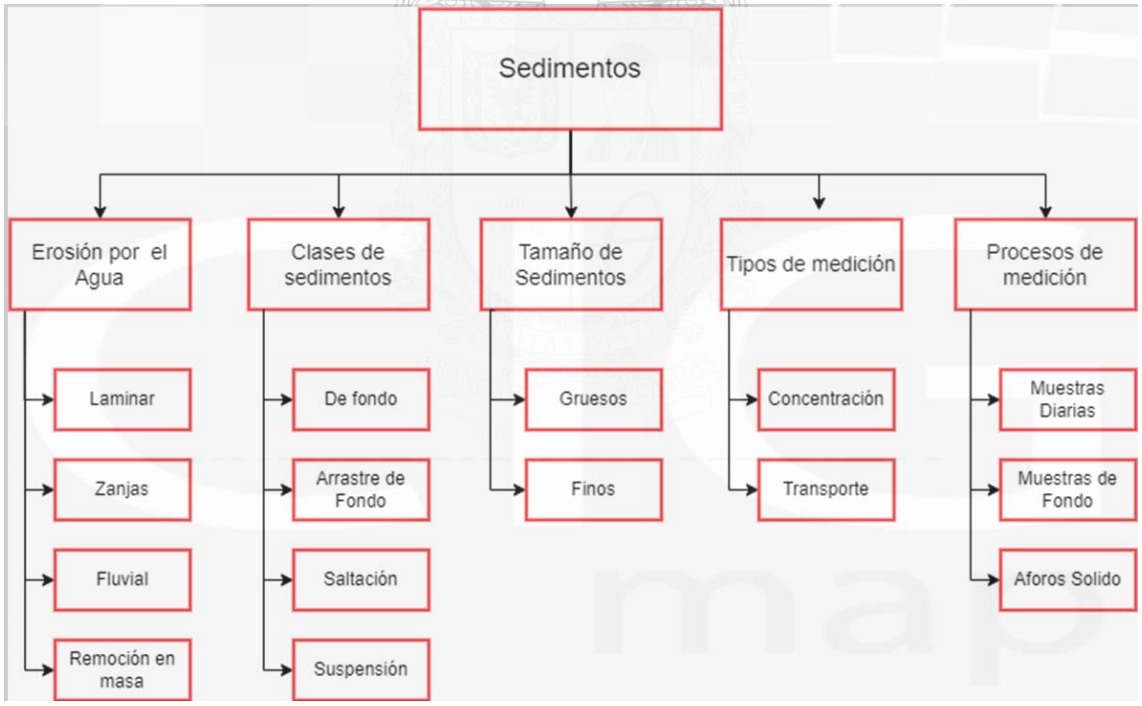


Ilustración 8 Tipos de sedimentos y procesos de medición

Adaptado de: (Ideam, Invemar, 2021)

De acuerdo con el origen del transporte *(Vide, 2004)* se refiere a que le material de la cuenca muy fino llamado material de lavado de la cuenca es transportado siempre en

suspensión por lo que le transporte del material suma dos orígenes (Cuenca y Cauce) y se diferencia de manera practica mediante el tamaño de la partícula Diámetro inferior o igual 0.0625 mm (arcillas y limos) mayoritariamente será transportado en suspensión mientras que los diámetros mayor o igual a 0.0625 mm (arenas) serán transportados por el lecho o fondo del cauce.

El material lavado está ligado a características de la cuenca como la litología, los suelos, las pendientes, la vegetación, la escorrentía, por lo tanto, el transporte en suspensión puede representar el 90% o más del material solido transportado y el caudal solido puede ser posible en 0.1% a 1% del caudal líquido. *(Vide, 2004)*

5.1 PROCEDIMIENTO DE CAMPO SOLIDOS SUSPENDIDOS



Imagen 2 Procedimiento de campo para muestreo de solidos suspendidos (Sección Rio Guayuriba)

Fuente: CIGMAP S.A.S.2023

Como se explicó con anterioridad, la siguiente fase es a la captura directa de campo, es decir, todos los procedimientos técnicos necesarios para recolectar la información que garantizará el producto deseado. Como se había explicado, el componente de captura de datos es la reunión de varios procesos, entre ellos tres relevantes: Posicionamiento GPS, levantamiento batimétrico, Aforo de caudal, para este manual solo se explicará con detalle el aforo de caudal en uno de sus componentes el aforo de solidos suspendidos por medio del muestreador DH-48.

Previamente se realiza el posicionamiento y ajuste de puntos GPS, el levantamiento de la sección que cumpla las mejores condiciones (lejos de las curvas, evitando obstrucciones y turbulencias que alteren la medición). Se puede realizar el proceso por medio de las antenas receptores satelitales con el procedimiento GNSS RTK (Real Time Kinematic) navegación cinemática satelital en tiempo real, o por medio de radiación simple con estación total, por lo tanto, se posiciona en el punto denominado GPS1 y se hace vista atrás (BS) con el punto GPS2.

Una vez orientada la estación se inicia la radiación a los puntos describiendo si son Terreno natural TN, Lámina de agua o Punto de Nivel PN. La distancia entre un PN y otro dentro del agua no debe ser en ningún caso superior al 20% del total de la longitud del cauce que se mida (norma ISO 748 de 2007), de tal manera que cada uno de los caudales no sea superior al 10% del caudal total en la sección transversal levantada. Para la determinación de distancias entre verticales se tiene en cuenta el criterio de la norma ISO 748 de 2007:

Tabla 3 Relación Ancho del canal/número de verticales.

Fuente: norma ISO 748 de 2007

ANCHO DE CANAL VS N° DE VERTICALES	
ANCHO DE CANAL	**N° DE VERTICALES**
0m - 0.50m	3 a 4
0.5m - 1m	4 a 5
1m - 3m	5 a 8
3m - 5m	8 a 10
5m - 10m	10 a 20
mas de 10m	20 o mas

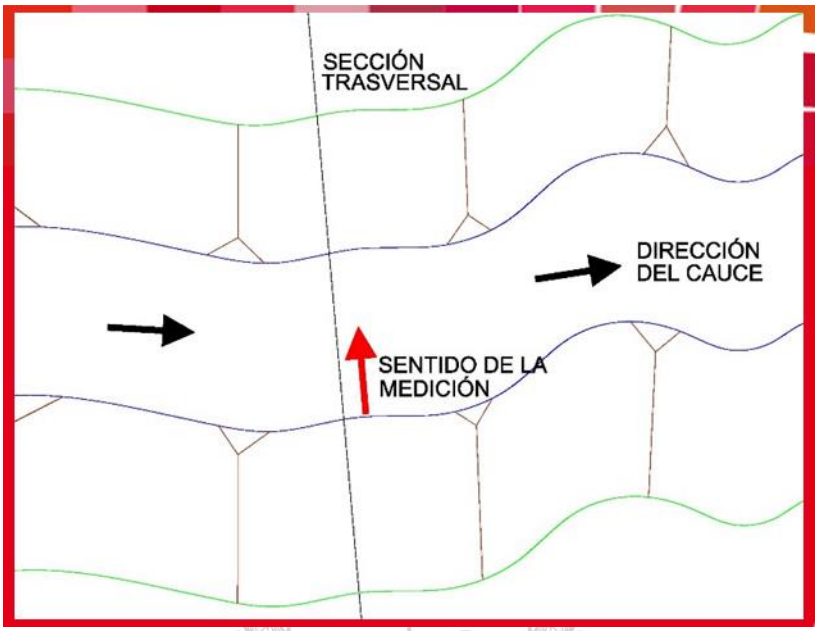


Figura 2 Sentido de la medición.

Fuente: CIGMAP S.A.S 2014.

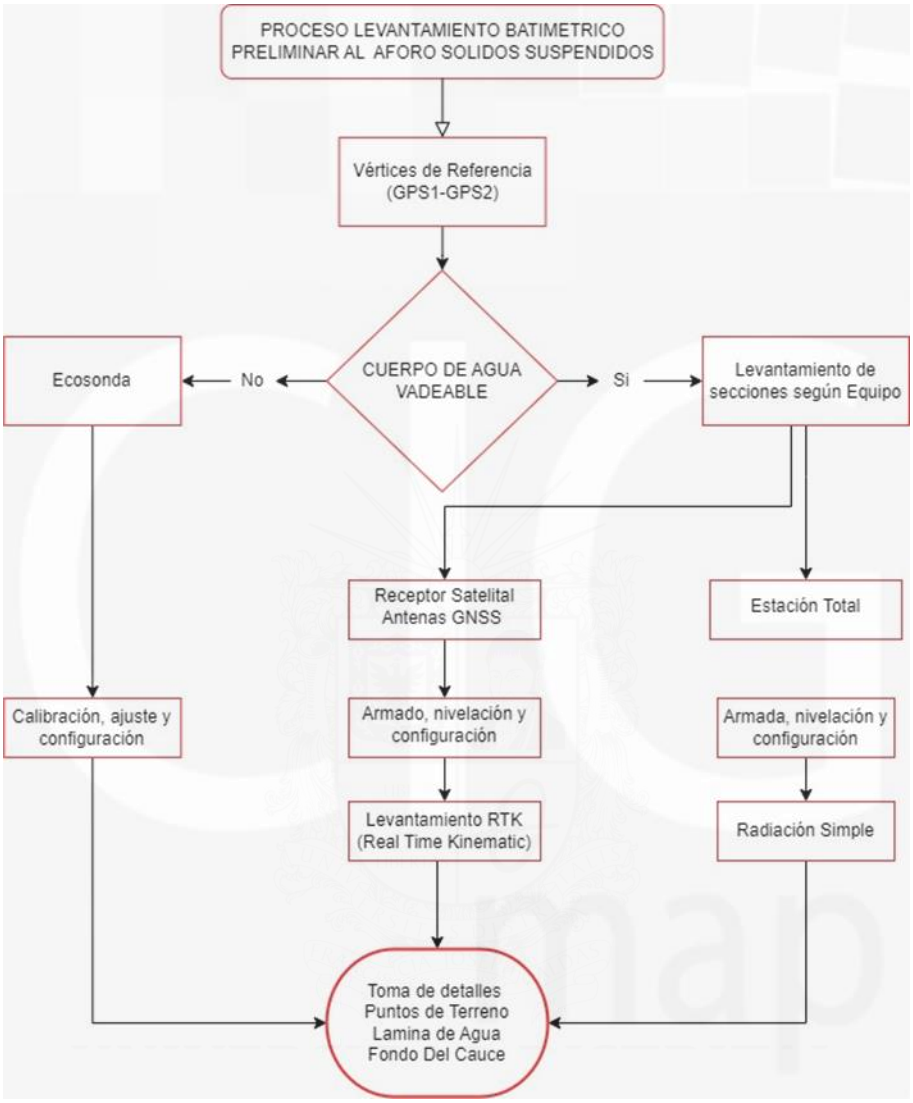


Ilustración 9 Proceso de levantamiento batimétrico.

Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

El muestreo de solidos suspendidos se realiza para conocer el transporte y la concentración de solidos suspendidos en una corriente de agua, determinados por la velocidad de flujo y el peso de la partícula suspendida. *(Ideam, Invemar, 2021)*

5.1.1 **Métodos de Muestreo**

Se puede realizar mediante el método de muestreo EWI (Equal Width Increment) que plantea incrementos iguales de anchura de la corriente, o el método basado en iguales incrementos del caudal de agua EDI, (Equal Disharge Increment Method), con el fin de recolectar una muestra representativa la cual relaciona la concentración media de toda la vertical en cada una de las subsecciones de trabajo. *(Ideam, Invemar, 2021)*

El método EDI requiere un volumen igual de muestra proporcional al caudal de cada uno de los espacios limitados por verticales en la sección transversal (mínimo 4), el muestreo a una velocidad de tránsito no igual en todas las verticales produce un volumen total de muestra proporcional al flujo total de la corriente igual en cada centroide de la vertical muestreada es importante resaltar que este método resulta favorable en cuanto a tiempo y costos si se tiene previamente conocimiento de la distribución de flujo por medio de periodos de aforo previos en la sección transversal, teniendo constante el diámetro de la boquilla para todos los muestreos *(Ideam, Invemar, 2021)*.

Mientras que el método EWI conserva igual el ancho de cada una de las subsecciones, con caudales de descarga desiguales y una tasa de tránsito igual para cada vertical por lo tanto el volumen recogido en la muestra dependerá de la velocidad de viaje en cada una de las verticales, el número de verticales depende de la distribución del caudal, concentración a través de la sección y la precisión *(Ideam, Invemar, 2021),* con el fin de mostrar las diferencias en el proceso de muestreo de los dos anteriores métodos de aforo integrado de profundidad se realiza diagrama comparativo a continuación:

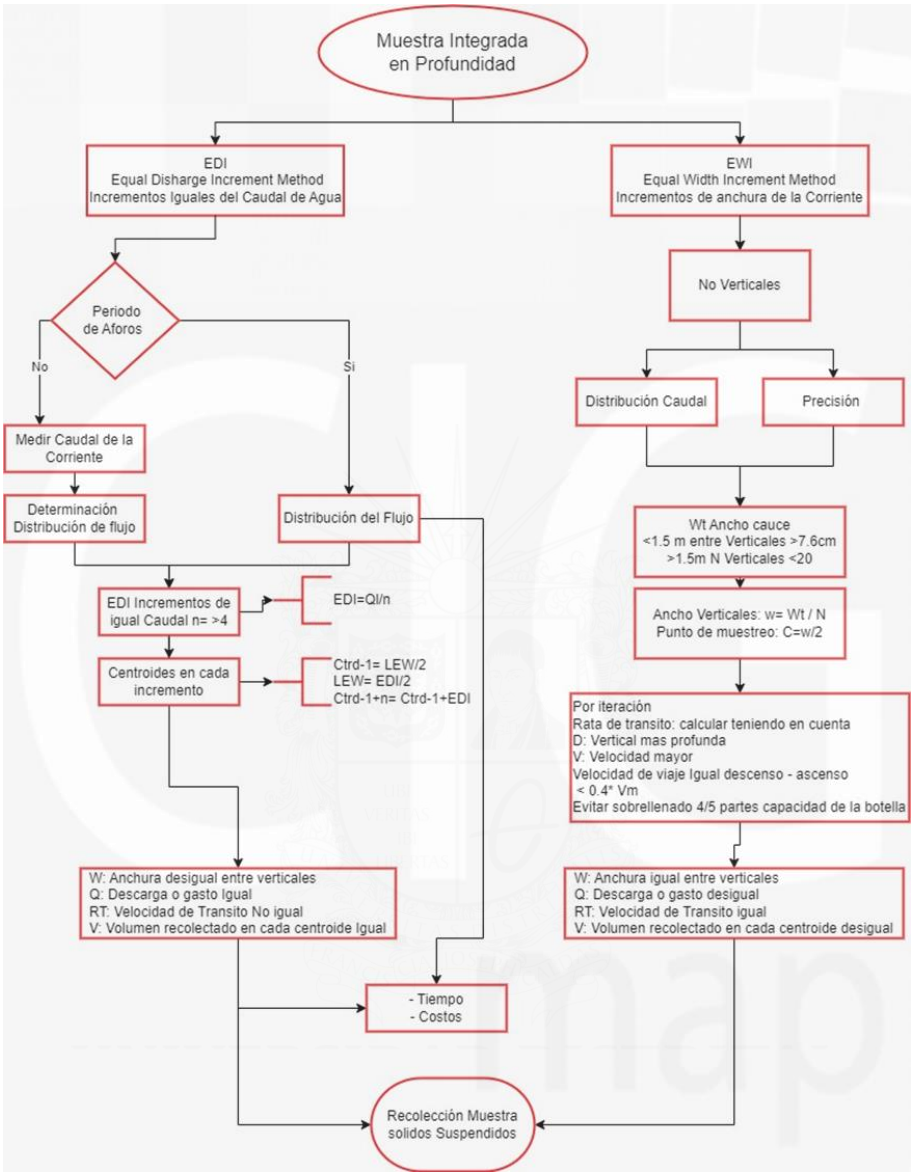


Ilustración 10 Diagrama de métodos de muestreos integrados en profundidad

Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

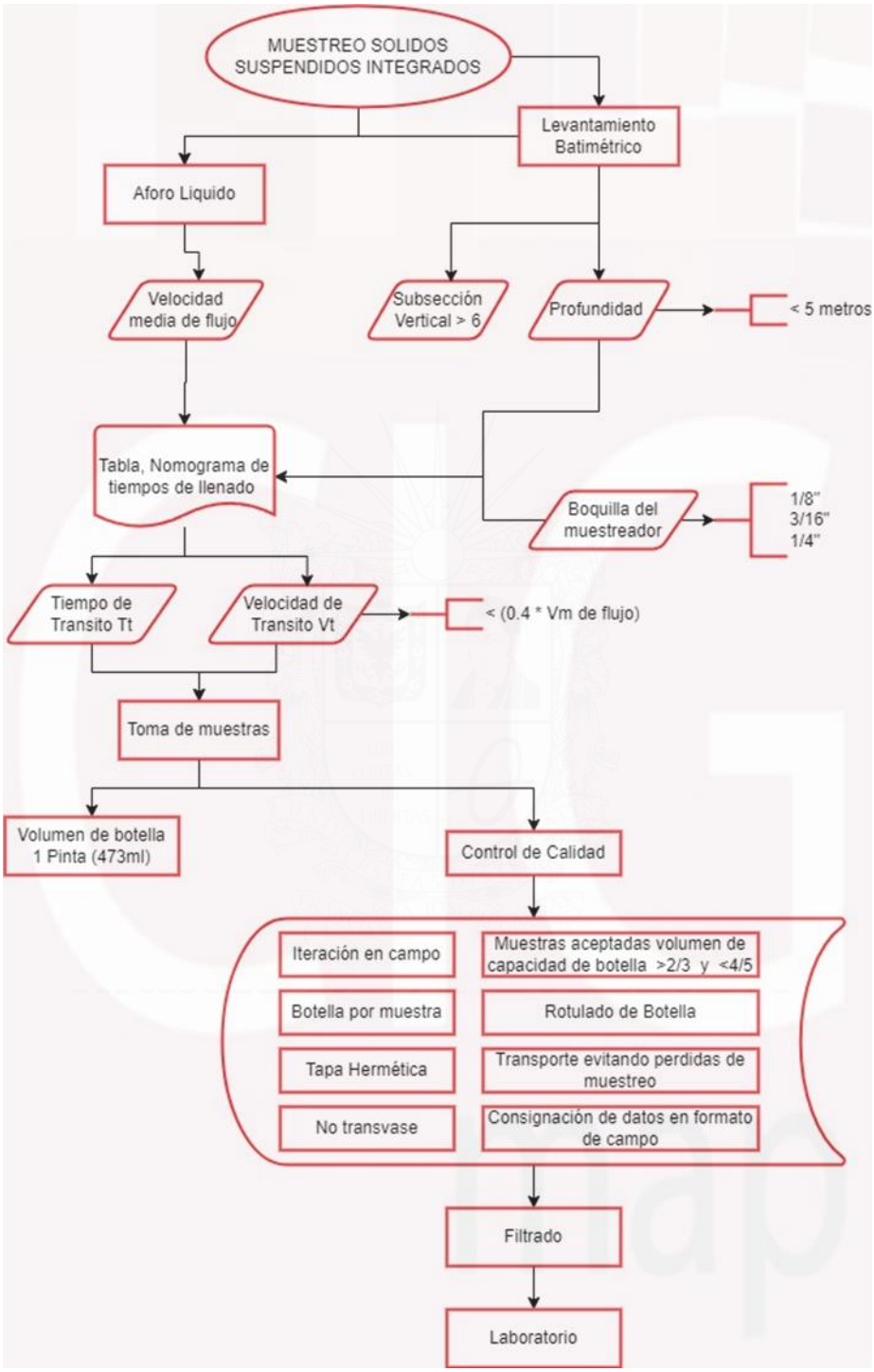


Ilustración 11 Proceso de muestreo solidos suspendidos integrados

Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

5.2 MUESTREADOR INTEGRADOR DE PROFUNDIDAD

El propósito de un muestreador de sedimentos suspendido es obtener una muestra representativa de la mezcla agua-sedimento que se mueve en la corriente en las proximidades del muestreador. *(FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-DH-48, 2018)*

En este tipo de muestreo, el muestreador recorre la vertical en ambas direcciones (superficie-fondo-superficie), de tal manera que durante el doble desplazamiento en la vertical se tome una muestra que representa la concentración media en la vertical. *(Ideam, Invemar, 2021)*

Para este manual se tomarán las siguientes referencias para Colombia y su diferencia de manera general se trata de la profundidad alcanzada por cada uno.

Fueron desarrollado por el FISP Proyecto Federal Interinstitucional de Sedimentación

Equipo DH-48 Superficial profundidad máxima 9 pies o 2.7 metros.

Equipo DH-59 Profundidad máxima 15 pies o 4.5 metros (Ver Anexo 6 Ficha especificaciones técnicas equipos)

D: Integración de profundidad.

H: Sostenido de mano por varilla o barra.

El equipo anteriormente mencionado es un muestreador integrador de profundidad isocinético su función es recoger una muestra agua-sedimento de la corriente a una tasa igual a la velocidad de la corriente incidente en la boquilla de admisión. La muestra agua-sedimento recogida es proporcional a la velocidad instantánea en el centro de la boquilla de admisión y por lo tanto es representativa de la carga de sedimento en ese punto. *(FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-DH-48, 2018)*

Los muestreadores integradores de profundidad no poseen una válvula que controle el acceso del agua. Se utilizan para obtener muestras representativas de toda una vertical de medición, haciendo descender el instrumento hasta el fondo y de vuelta a la superficie en una vertical de medición, de tal manera que recorra toda la vertical a una velocidad de tránsito constante que está en función de la velocidad de la corriente, profundidad y diámetro de la boquilla del muestreador. *(Ideam, Invemar, 2021)*

Tabla 4 Adaptado de Características y parámetros de muestreadores de sedimentos suspendidos.

Fuente: (Ideam, Invemar, 2021)

Equipo	Boquilla (pulgada)	Volumen del contenedor	H Máxima (pie)	Velocidad Mínima (pie/s)	Velocidad Máxima (pie/s)	Zona no muestreada (pulgada)	Peso (lb)
US DH-48	¼	pinta	9	1.5	8.9	3.5	4
US DH-59	3/16	pinta	15	1.5	5.0	4.5	22
US DH-59	1/4	pinta	9	1.5	5.0	4.5	22

Tabla 5 Adaptado de Tabla de Tiempos de llenado DH-48.

Fuente: Manual de Instrucciones DH-48 USGS

Volumen (ml)	395
V (m/s)	T (s)
0.30	41
0.37	34
0.43	29
0.49	26
0.55	23
0.61	20
0.67	19
0.73	17
0.79	16
0.85	15
0.91	14
0.98	13
1.04	12
1.10	11
1.22	10
1.46	9
1.58	8
1.77	7
2.07	6
2.32	5
2.74	4

5.3 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

Filtrado de muestras

Continuando con el proceso se tomó las muestras y se realiza el filtrado. *(Ideam, Invemar, 2021)*

- Rotulado de filtro.
- Rotulado de embudo de fondo plano.
- Colocación de filtro en embudo de manera horizontal.
- Humedecer filtro con atomizador.
- Colocar embudo de fondo plano con filtro de forma horizontal dentro de recipiente recolector o vaso precipitado.
- Dejar escurrir el material por aproximadamente 12 horas
- Pesar el material liquido
- Trasvase de líquido a una probeta en el cual se mide el volumen con resolución de 5 ml.
- Por medio de una pipeta se determina el volumen con resolución de 1 ml.
- Revisar que en la botella que todo el material solido ha sido retirado.
- Enjuagar la botella contenedora varias veces para evitar que quede material solido dentro de ella.
- Pesar el material solido (si el material solido es igual a mayor de los 0.5 gramos se debe realizar granulometría)
- Doblado, rotulado del filtro asegurando la muestra en la parte interna del mismo.
- Empaque del filtro en bolsa Ziploc para cada muestra.
- Armado de paquete de muestras tomadas en la sección transversal.
- Se registran los datos anteriormente determinados.
- Envió a laboratorio.

Toda la información debe estar estructurada y guardada en sus respectivos archivos.

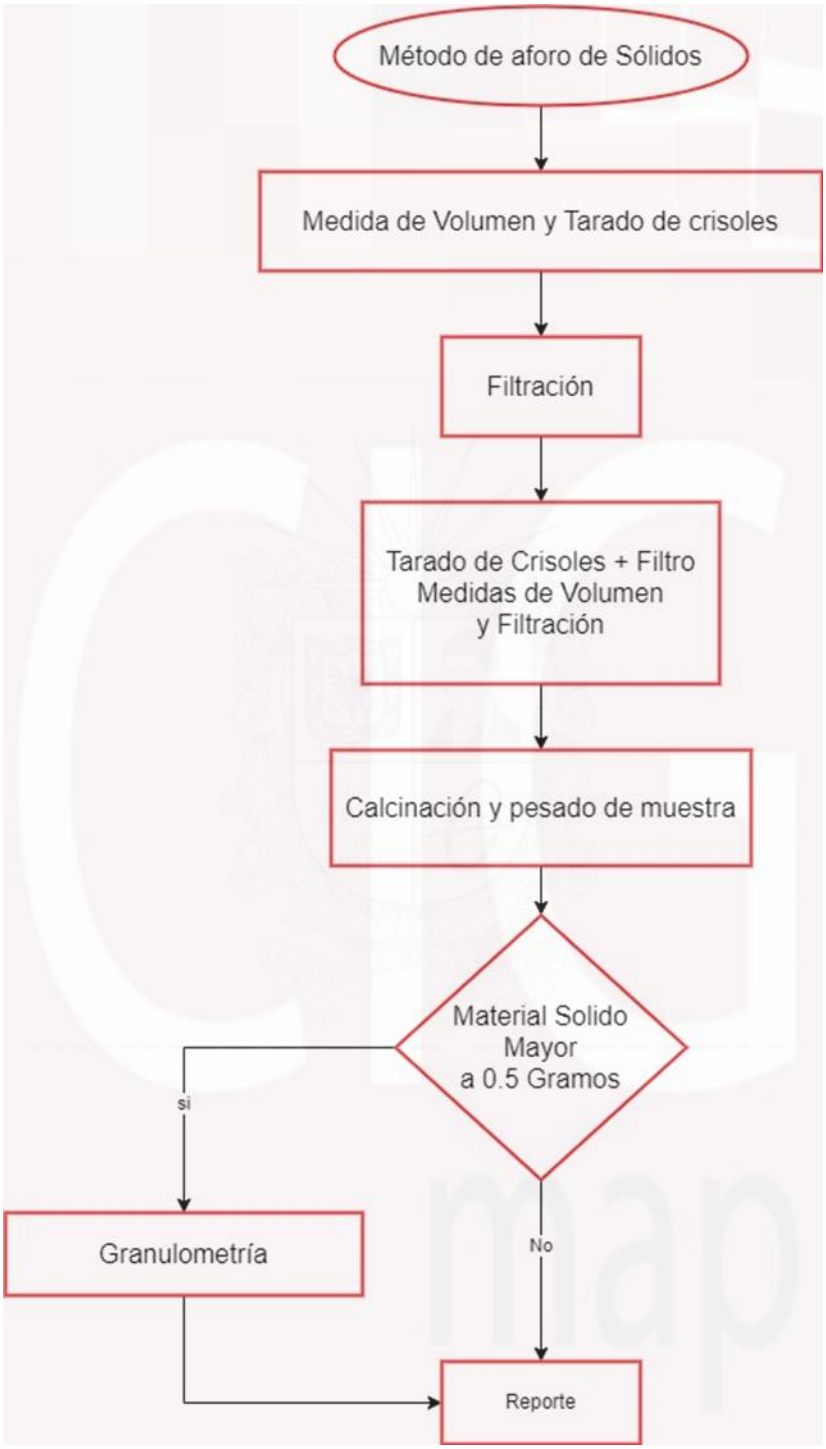


Ilustración 12 Diagrama general de proceso en laboratorio aforo Solidos

Fuente: Adaptado de (Ideam, Invemar, 2021)



Imagen 3 Procedimiento de Rotulado, filtrado y almacenamiento muestras de solidos suspendidos.

Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

5.4 CÁLCULOS RESULTADOS Y SALIDAS GRAFICAS

Como parte del procedimiento se deben realizar los cálculos de los caudales solidos suspendidos para cada sección transversal manteniendo la coherencia en los procedimientos de cálculo y permitiendo la interpretación de manera clara por lo tanto se requiere que la información tabulada disponga de organización cronológica correspondiente al procedimiento realizado en campo.

Sistema de información contiene los siguientes datos:

- Proyecto
- Fecha
- Municipio
- Vereda
- Nombre del cuerpo de agua.
- Hora de inicio
- Hora final
- Coordenadas de localización
- Elevación
- Parámetros in situ
- Equipo muestreador
- Distancia total de la sección evaluada.
- Distancia entre subsecciones de aforo.
- Profundidad máxima
- Elevación de lámina de agua
- Velocidades máximas, velocidades medias de cada subsección y de toda la sección.
- Caudal líquido
- Volúmenes de recolección de muestras.
- Peso bruto por muestra
- Peso neto por muestra
- Concentración media
- Transporte solido suspendido total
- Promedios por unidad de tiempo (Dia, mes año).

(Anexo 4 Cartera de campo aforo solidos suspendidos).

Una vez digitalizada la información de campo y determinados los resultados del proceso de laboratorio se realiza el cálculo del caudal solido suspendido, la concentración se mide en unidades de peso por unidades de volumen por tanto, se relaciona el peso neto obtenido en el proceso de laboratorio el cual es un peso de material seco, se divide por el volumen resultante de la sumatoria de líquido

determinado en las botellas de muestreo por lo tanto la concentración media esta definida en unidades de mg/l - g/l o su equivalente a kg/m3.

$$Cm = \frac{\text{Peso neto (mg)}}{Volumen\ (litros)}$$

Ecuación 5.4.1

El peso neto y el volumen de la muestra se obtienen de acuerdo con el procedimiento ampliado en el numeral 5.3 de este documento.

Para el volumen de la muestra se debe realizar una sumatoria con respecto al número de muestras tomadas en la sección de aforo.

$$\text{Volumen} = \sum_{i=1}^{n} \text{muestras integradas subseccion}$$

Ecuación 5.4.2

Una vez obtenida la concentración media en toda la sección transversal se realiza el cálculo del transporte de caudal suspendido por medio del resultado de la ecuación:

$$Qss = Cm * Ql\ \left(\frac{kg}{s}\right)$$

Ecuación 5.4.3

Qss es el caudal liquido suspendido

Cm es la concentración media en toda la sección transversal.

Ql es el caudal liquido en toda la sección transversal.

A partir de los resultados obtenidos mediante hojas de cálculos se realizan tablas, graficas, de distribución y tendencia de los datos que relacionan el caudal líquido en (m3/ segundo), la velocidad media en (metros /segundo) y el caudal sólido suspendido en unidades de (tonelada / día) de acuerdo a las especificaciones o necesidades de cada proyecto.

6 REFERENCIAS

CIGmap SAS. (2014). *Manual de procedimientos.* Bogotá D.C.

Díaz, H. A. (2010). *Hidraulica Fluvial Fundamentos y aplicaciones Socavación.* Bogotá: Nuevas Ediciones S.A.

Edwards, T. K., & Glysson, G. D. (1999). *Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment C1, C2, C3.* Reston, Virginia: USGS Science for changing world.

FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-BL-84. (14 de 12 de 2018). *water.usgs.gov.* Obtenido de https://water.usgs.gov/fisp/docs/Instructions_US_BL-84_990507.pdf: http://water.usgs.gov/fisp/products/4103014.html

FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT-DH-48. (07 de 12 de 2018). *water.usgs.gov.* Obtenido de https://water.usgs.gov/fisp/docs/Instructions_US_DH-48_001010.pdf: http://water.usgs.gov/fisp/products/4101002.html

Griem, W. (2020). *Apuntes Geología*. Obtenido de https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05d.htm

Ideam, Invemar. (2021). Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá D.C., Colombia.

MADS MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (19 de Julio de 2022). *LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL MANEJO DE SEDIMENTOS A NIVEL DE CUENCA HIDROGRÁFICA EN EL MARCO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO.* Obtenido de www.minambiente.gov.co: https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/manejo-de-sedimentos/

SIMAC SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CALDAS. (2022). *INFORME DE AFOROS DE CAUDAL LÍQUIDO Y SÓLIDO EN QUEBRADAS Y RIOS DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS.* Manizales.

Vide, J. P. (2004). *Ingeniería de ríos.* Tabasco, Mexico: alfaomega Grupo Editor.