

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 1 de 47		

**SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS
EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.**

EL PROYECTO DENOMINADO:

*"SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL
MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."*

TITULO DEL INFORME:

**AFOROS LIQUIDOS Y AFORO SOLIDO EN EL RIO PIEDRAS
LA UNION - ANTIOQUIA**

**DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
MUNICIPIO DE LA UNION
OCTUBRE – 2023**

STOA INGENIERIA DE AVANZADA LTDA

 CRA 1F No 40-195 Oficina 201
Edificio Enterprise, Tunja - Boyacá

 (8) 743 9685

 +57 313 708 5773

 Stoalimitada02@gmail.com

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 2 de 47		

**SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS
EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.**

**EL PROYECTO DENOMINADO: " SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR
AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023
SUSCRITO CON CORNARE."**

CONSULTOR:

**STOA INGENIERÍA DE AVANZADA LIMITADA
NIT. 900.050.857-3**

PRESENTADO A:

**POLITÉCNICO COLOMBIANO "JAIME ISAZA CADAVID"
NIT. 890.980.136-6**

**DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
MUNICIPIO DE LA UNION
OCTUBRE – 2023**

STOA INGENIERIA DE AVANZADA LTDA

 CRA 1F No 40-195 Oficina 201
Edificio Enterprise, Tunja - Boyacá

 (8) 743 9685

 +57 313 708 5773

 Stoalimitada02@gmail.com

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 3 de 47		

CUADRO CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN No.	ELABORADO POR	FECHA	DESCRIPCIÓN DE CAMBIOS	APROBADO POR
0.0	Manuel Alejandro Grimaldos Mojica Director de Proyectos (Ingeniero Civil - Hidráulico)	27/09/2023	Documento Preliminar	Gerente
0.1	Diego Aaron Rodríguez Cumplido Coordinador de Proyectos (Ingeniero Civil)	28/09/2023	Documento Preliminar	Gerente
0.2	Diego Aaron Rodríguez Cumplido Coordinador de Proyectos (Ingeniero Civil)	10/10/2023	Documento Preliminar	Gerente
0.3	Diego Aaron Rodríguez Cumplido Coordinador de Proyectos (Ingeniero Civil)	13/10/2023	Documento Preliminar	Gerente
0.4	Diego Aaron Rodríguez Cumplido Coordinador de Proyectos (Ingeniero Civil)	13/10/2023	Documento Final	Gerente

☐ [COPIA CONTROLADA]
☒ [COPIA NO CONTROLADA]


Guía Para Presentación de Informes

STOA LIMITADA INGENIERIA DE AVANZADA


[COPIA NO CONTROLADA]

OCTUBRE 2023

STOA INGENIERIA DE AVANZADA LTDA

 CRA 1F No 40-195 Oficina 201
 Edificio Enterprise, Tunja - Boyacá

 (8) 743 9685

 +57 313 708 5773

 Stoalimitada02@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	8
2. ALCANCE	9
3. OBJETIVOS	11
3.1. GENERAL	11
3.2. ESPECÍFICOS	11
4. MARCO CONCEPTUAL	12
5. MARCO LEGAL.....	14
6. ASPECTOS GENERALES	15
6.1. ASPECTOS GENERALES	15
6.1.1. Descripción Geográfica Del Municipio	15
6.1.2. Descripción Física	16
6.1.3. Datos climatológicos	16
6.1.3.1. Temperatura mínima y máxima	16
6.1.3.2. Nubosidad	17
6.1.3.3. Lluvia	18
6.1.3.4. Sol	19
6.1.3.5. Viento.....	19
6.1.4. Hidrografía.....	20
6.1.5. División político-administrativa.....	20
6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SOCIALES	20
6.2.1. Economía.....	20
6.2.2. Demografía	21
7. TRABAJO DE CAMPO.....	23
7.1. VISITA DE CAMPO Y RECONOCIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION....	23
7.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	24
7.2.1. Correntómetro tipo Molinete	24
7.2.2. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad	24
7.2.3. Base Satelital HIPER II.....	25
7.2.4. GNSS Dobles Frecuencia L1/L2	25
7.2.5. Materiales (Herramienta Menor).....	25
8. AFOROS LIQUIDOS.....	27
8.1. MEDICION DE AFOROS DE CAUDAL EN CAMPO	27
8.1.1. Metodología	28
8.1.2. Selección de la sección de aforo.....	28
8.1.3. Medición de Aforo Liquido #01 - Rio Piedras	28
8.2. CARACTERIZACION DE VEGETACION ALEDAÑA.....	30
8.3. RESULTADOS AFOROS LIQUIDOS	32
8.3.1. Medición de Aforo Liquido #01 - Rio Piedras	32
8.3.2. Sección Batimétrica.....	33

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 5 de 47		

8.3.3. Resumen de Resultados Obtenidos	34
9. AFOROS SOLIDOS	36
9.1. MEDICION DE AFOROS SOLIDOS EN CAMPO	36
9.1.1. Aforo puntual	36
9.1.2. Selección de la sección de aforo.....	37
9.1.3. Medición de Aforo Solidos - Rio Piedras	37
9.1.3.1. Solidos de fondo	37
9.1.3.2. Solidos suspendidos	38
9.2. RESULTADOS AFORO SOLIDO	38
9.2.1. Solidos de Fondo	38
9.2.1.1. Muestra aforo #01	38
9.2.1.2. Muestra aforo #02	40
9.2.2. Solidos Suspendidos	42
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
11. BIBLIOGRAFIA.....	46

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 6 de 47		

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización general del municipio de La Unión - Antioquia	15
Ilustración 2. Gráfica de temperatura mínima y máxima del municipio de La Unión – Antioquia	17
Ilustración 3. Gráfica de nubosidad del municipio de La Unión - Antioquia.....	18
Ilustración 4. Gráfica lluvia promedio del municipio de La Unión - Antioquia	18
Ilustración 5. Gráfica de sol promedio del municipio de La Unión - Antioquia	19
Ilustración 6. Gráfica viento promedio del municipio de La Unión - Antioquia.....	19
Ilustración 7. Indicador de Importancia Económica del municipio de La Unión – Antioquia.....	21
Ilustración 8. Sectores de mayor importancia en el Valor Agregado del municipio de La Unión – Antioquia.....	21
Ilustración 9. Estructura de la población del municipio de La Unión – Antioquia	22
Ilustración 10. Ubicación Preliminar de los Aforos a Realizar en el Rio Piedras	23
Ilustración 11. Correntómetro Tipo Molinete	24
Ilustración 12. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad.....	24
Ilustración 13. Base Satelital Hiper II	25
Ilustración 14. GNSS GRS-1 TOPCON	25
Ilustración 15. Materiales requeridos.....	26
Ilustración 16. Sección típica de aforo, profundidades medidas desde la superficie	30
Ilustración 17. Cobertura Vegetal Rio Piedras	31
Ilustración 18. Sección Batimétrica Aforo 01 Rio Piedras.....	33
Ilustración 19. Sección Batimétrica Aforo 02 Rio Piedras.....	34
Ilustración 20. Recolección de muestra de solidos de fondo	37
Ilustración 21. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad.....	38
Ilustración 22. Curva Granulométrica Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras	39
Ilustración 23. Curva Granulométrica Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras	41

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 7 de 47		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Medición de Aforo 01 – Rio Piedras	32
Tabla 2 Medición de Aforo 02 – Rio Piedras	32
Tabla 3 Resumen de resultados Aforo 01 – Rio Piedras.....	34
Tabla 4 Resumen de resultados Aforo 02 – Rio Piedras.....	35
Tabla 5 Tabla de Granulometría Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras.....	39
Tabla 6 Resultados Gradación Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras.....	40
Tabla 7 Tabla de Granulometría Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras.....	40
Tabla 8 Resultados Gradación Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras.....	42

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 8 de 47		

1. INTRODUCCION

Entre el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, se suscribió el Contrato No.CI-272 de 2023, con la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE – CORNARE -, cuyo objeto es "REALIZAR LA DELIMITACIÓN DE DOS (2) RONDAS HÍDRICAS EN LAS FUENTES PRIORIZADAS POR CORNARE BAJO LOS CRITERIOS TÉCNICOS DE LA "GUÍA TÉCNICA PARA LA DELIMITACIÓN DE RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA" ADOPTADA MEDIANTE LA RESOLUCIÓN 0957 DE 2018 DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE".

Con base en las actividades comprendidas en las componentes definidas para el desarrollo del convenio, y dado que el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid no cuenta con los sensores topográficos y batimétricos requeridos para alcanzar las especificaciones o criterios técnicos óptimos, se hace necesaria la consecución de un apoyo técnico a la Dirección de Proyectos Especiales del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, que cuente con los equipos y personal capacitado para el levantamiento de la información batimétrica y topográfica mencionada.

De acuerdo con la necesidad entre EL POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID y STOA INGENIERIA DE AVANZADA LTDA se suscribió el CONTRATO N° SMC-P- 441408 DE 2023 cuyo objeto es "SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."

	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 9 de 47		

2. ALCANCE

El presente documento presenta los resultados obtenidos en el marco del CONTRATO N° SMC-P-441408 DE 2023 cuyo objeto es "SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."

Las actividades realizadas para el Rio Piedras en el Municipio de la Unión Antioquia fueron:

- **Aforos Líquidos**

Levantamiento de información en campo sobre 2 secciones transversales de interés ubicadas en las corrientes PIEDRAS, a definir por el equipo técnico del Convenio, utilizando un Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés) o similar. Entre las variables a levantar se encuentran el caudal, la velocidad máxima, la velocidad media, el área húmeda, la profundidad máxima del flujo y el ancho superficial.

Para cada punto de aforo, se debe realizar siguiendo las especificaciones indicadas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 2007).

También se consideraron:

- Para cada sitio de monitoreo se deberá construir la sección topobatimétrica que cubra todo el cauce principal. Los parámetros hidráulicos medidos en los aforos líquidos deberán relacionarse con dichas secciones.
- Para cada aforo se deberá presentar la sección mojada y hacer entrega del formato de medición de caudal, reportando allí el caudal, ancho superficial, área mojada, perímetro mojado, profundidad media.
- Se deberán presentar los protocolos de monitoreo y toma de muestras, con su respectivo registro fotográfico.
- Los puntos de aforos deben tener información de caudal líquido, presentando la sección característica. Deben reportarse, igualmente, los siguientes parámetros hidráulicos: ancho superficial, área mojada, perímetro mojado, profundidad media y máxima.
- Los registros fotográficos tanto del cuerpo de agua muestreado como de la vegetación aledaña a las orillas deben anexarse.
- La sección topobatimétrica del cauce en cada punto aforado debe estar amarrada al actual sistema de referencia IGAC.

- **Aforos sólidos**

Debe realizarse un levantamiento de información en campo sobre 1 seccion transversal

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 10 de 47		

coincidentes con una de las secciones transversales de aforos líquidos ubicada en la corriente PIEDRAS, determinando mediante métodos reconocidos técnicamente para la toma de muestras de sólidos, y siguiendo las especificaciones indicadas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 2007).

También se consideraron:

- Levantamiento de contenido caracterizado de material en suspensión
- Levantamiento de Contenido caracterizado de material de fondo
- Curva granulométrica de la sección de aforo

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 11 de 47		

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

- Realizar dos (02) aforos líquidos y un (01) aforo solido sobre el Rio Piedras Ubicado en el municipio de la Unión Antioquia según las especificaciones indicadas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 2007).

3.2. ESPECÍFICOS

- Construir la sección topobatimétrica que cubra todo el cauce principal. Los parámetros hidráulicos medidos en los aforos líquidos deberán relacionarse con dichas secciones.
- Presentar para cada aforo la sección mojada y hacer entrega del formato de medición de caudal, reportando allí el caudal, ancho superficial, área mojada, perímetro mojado, profundidad media.
- Presentar los registros fotográficos tanto del cuerpo de agua muestreado como de la vegetación aledaña a las orillas deben anexarse.
- Amarrar al actual sistema de referencia IGAC la sección topobatimétrica del cauce en cada punto aforado debe estar amarrada.
- Presentar el levantamiento de contenido caracterizado de material en suspensión.
- Presentar el levantamiento de Contenido caracterizado de material de fondo.
- Presentar la curva granulométrica de la sección de aforo.

	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 12 de 47		

4. MARCO CONCEPTUAL

Estudio Hidrológico. Un estudio hidrológico o hidráulico es un documento de gran complejidad, en el que se recopilan todas las posibles afecciones y repercusiones hidráulicas que una construcción o terreno puede padecer, e incluso beneficiarse, por la influencia de una masa de agua.

Precipitación. En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, que son formas de condensación y no de precipitación

Hidrología. La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre.

Análisis Morfométrico de la cuenca. El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad.

Aforo Líquido. El aforo líquido es un procedimiento técnico que consiste en tomar mediciones sobre cauce que permitan calcular el caudal del mismo.

Longitud del cauce. Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, desde la parte más alta hasta la desembocadura; generalmente, este parámetro influye en la mayoría de los índices morfométricos.

Sinuosidad de la fuente. El índice de sinuosidad es aquél que se calcula sobre la fotografía aérea, siendo la división de la longitud del eje central del cauce entre la longitud en línea recta entre los puntos de inicio y fin del tramo objeto de estudio.

Agua: Fase líquida de un compuesto químico formado aproximadamente por dos partes de hidrógeno y 16 partes de oxígeno en peso. En la naturaleza contiene pequeñas cantidades de agua pesada, gases y sólidos -principalmente sales- en disolución.

Aguas superficiales: Son todas las aguas que se encuentran en la superficie del suelo. Son producidas por la escorrentía generada por las precipitaciones y por la captación de aguas subterráneas. Pueden presentarse como corrientes de agua que se mueven en una dirección como son los ríos y los manantiales; o como aguas en calma o quietas como los lagos.

	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 13 de 47		

Balance hídrico: Evaluación de los aportes y descargas de agua de un acuífero o una cuenca hidrográfica para un período de tiempo determinado. (WMO, 2012). Cálculo numérico basado en el principio de que el flujo de salida de una cuenca hidrográfica o masa de agua determinadas debe ser igual al flujo de entrada más o menos la variación en el almacenamiento. (WMO, 2012).

Canal: Cauce artificial abierto cuya sección transversal tiene una forma generalmente constante, claramente diferenciado, que contiene agua en movimiento de forma permanente o periódica, o que enlaza dos masas de agua.

Cuenca: Área de drenaje de un curso de agua, río o lago. Partiendo del concepto real de cuenca ambiental es aquella área fisiográfica superficial que drena sus aguas, sedimentos y los materiales disueltos hacia una corriente en un punto y tiempo dado; rodeada por una frontera o divisoria de aguas que separa la superficie, una de otra, por donde fluye la escorrentía superficial y subterránea cuyos desagües corren hacia un punto común.

Capacidad del cauce o caudal a sección llena: Es la magnitud de caudal que puede circular por un curso de agua en un tramo sin producir desbordamientos.

Carga de sedimentos: Es la cantidad de material que pasa por una sección de un canal natural o artificial en la unidad de tiempo; generalmente se expresa en ton/día.

Cauce: Canal por donde se lleva el agua de un lugar a otro. Parte profunda de un río o curso de agua por la que fluye la corriente principal. Lecho o lugar por donde corren las aguas de un río o arroyo.

Cauce natural: Cauce natural o artificial a lo largo o a través del cual puede fluir el agua. Canal por el que circula el agua de una corriente. En el cauce de un río se distinguen el fondo y las paredes. En las avenidas el agua puede rebasar el cauce y ocupar el lecho de inundación.

Drenaje: Evacuación del agua superficial o subterránea, de una zona determinada, por gravedad o bombeo.

Morfología: es resultado de la interrelación de procesos complejos que se suceden a diferentes escalas espaciales a lo largo de la evolución de la red de drenaje.

Morfometría: Se centra en el estudio de la variación del tamaño y la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras. Debido a las variables que utiliza, la morfometría se divide en geométrica y tradicional.

Sedimento: Material transportado por el agua en suspensión o como arrastre de fondo desde su lugar de origen al de depósito. (WMO, 2012).

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 14 de 47		

5. MARCO LEGAL

DECRETO 3930 DE 2010 (octubre 25): Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

DECRETO-LEY 2811 DE 1974: Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

LEY 99 DE 1993: reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables; se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN, EVALUACIÓN, PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y CON TROL DE FUENTES TERRESTRES Y MARINAS DE CONTAMINACIÓN ALMAR (PNICM) 2004: el cual busca promover y fortalecer acciones tendientes a prevenir, evaluar, conservar, rehabilitar, restaurar y manejar el deterioro de los ambientes, ecosistemas y recursos marinos y costeros causados por la contaminación. Dentro de las estrategias de este programa se encuentra la caracterización de la contaminación y el monitoreo ambiental, en donde se aborda el Programa Nacional de la Calidad Ambiental como un compromiso permanente del Ministerio de Ambiente, el INVEMAR y las corporaciones autónomas regionales costeras.

ARTÍCULO 8 DEL DECRETO 1323 DE 2007: las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos, las creadas por el Artículo 13 de la Ley 768 del 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, deberán realizar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en el área de su jurisdicción, para lo cual deberán aplicar los protocolos y estándares establecidos en el SIRH.

PROTOCOLO DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA 2021 IDEAM: Este documento técnico actualiza anteriores protocolos que se han producido para suplir necesidades de orientación en la realización de prácticas hidrológicas de monitoreo, los cuales se mencionarán en el numeral 5.2 Protocolos y guías de monitoreo. En esta oportunidad se presentan nuevos procedimientos, conservando una visión integral del ciclo hidrológico en el ámbito continental y marino-costero.

6. ASPECTOS GENERALES

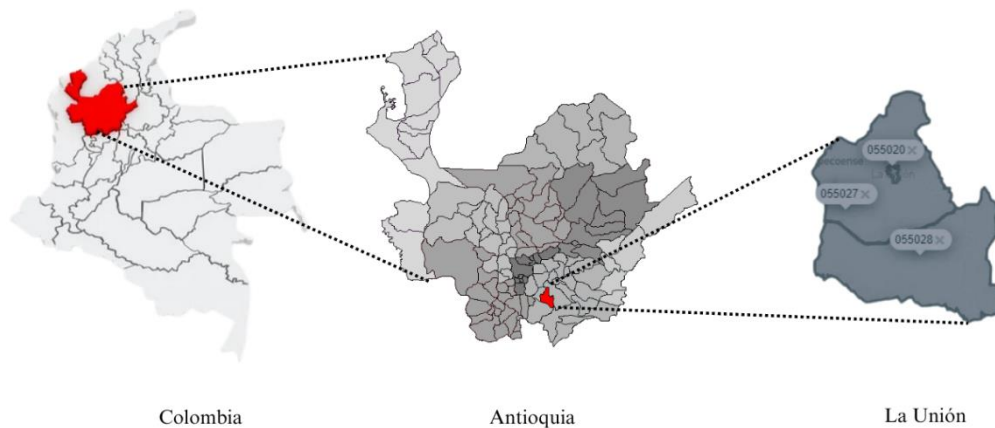
6.1. ASPECTOS GENERALES

6.1.1. Descripción Geográfica Del Municipio

El municipio de La Unión se encuentra en la subregión Oriente del departamento de Antioquia, en Colombia. Limita al norte con los municipios de La Ceja y El Carmen de Viboral, al este con El Carmen de Viboral, al sur con Abejorral y al oeste con La Ceja. Su cabecera municipal está a 57 kilómetros de la ciudad de Medellín, la capital del departamento. La superficie total del municipio es de 198 kilómetros cuadrados. Sus coordenadas geográficas son 5°58'30" de latitud Norte y 75°21'43" de longitud Oeste. Está situada a una altitud de 2500 m sobre el nivel del mar y tiene una temperatura promedio de 13°C.

La Unión limita con los municipios de El Retiro y el Carmen de Viboral al norte, con Abejorral al sur, con El Carmen al este y con La Ceja al oeste. Tiene una superficie de 171 km². Fue fundado en 1778 y se convirtió en municipio en 1911. Debido a que se encuentra en una superficie plana sin montañas en su perímetro, el municipio de La Unión no se ve afectado por quebradas torrenciales. Los procesos hidráulicos principalmente se deben a la obstrucción de su cauce y a la ocupación de las orillas y llanuras de inundación por infraestructura.

Ilustración 1. Localización general del municipio de La Unión - Antioquia



Fuente. Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 16 de 47		

6.1.2. Descripción Física

Límites del municipio: Limita por el norte con los municipios de La Ceja y El Carmen de Viboral, por el este con El Carmen de Viboral, por el sur con el municipio de Abejorral, y por el oeste con el municipio de La Ceja.

Extensión total: 198 kilómetros cuadrados

Extensión área urbana: 62 kilómetros cuadrados Km²

Extensión área rural: 136 kilómetros cuadrados Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2.500 metros sobre el nivel del mar

Temperatura media: 13° centígrados C°

Distancia de referencia: 244 kilómetros Km a Bogotá, 57 kilómetros Km a Medellín.

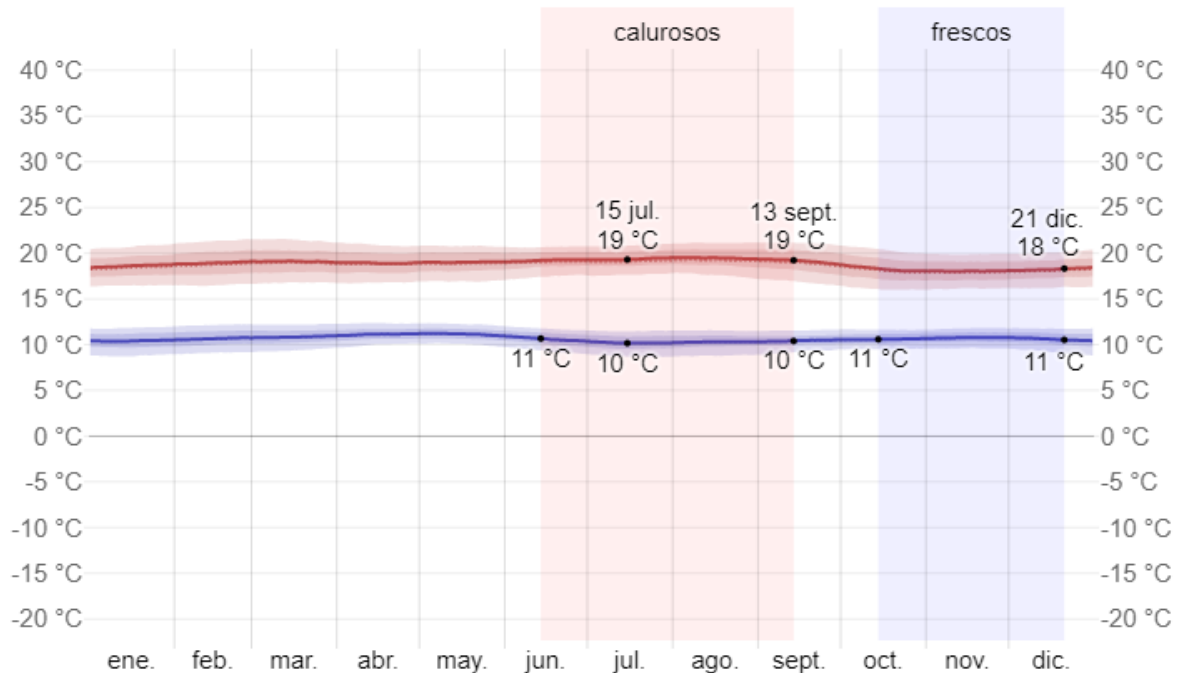
6.1.3. Datos climatológicos

El Municipio de La Unión se encuentra en una zona de piso térmico frío, con una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 13° Centígrados. El clima es influenciado por los vientos húmedos del Valle del Magdalena, que atraviesan la Cordillera Central cerca del Corregimiento de Mesopotamia y los Cerros de El Cardal y San Miguel. El relieve presenta un descenso brusco en las tierras quebradas de los cañones, lo que provoca una pérdida de humedad ambiental y lluvias. Los fondos de los cañones están afectados por "sombra de lluvia", lo que significa que las nubes no descargan su humedad.

6.1.3.1. Temperatura mínima y máxima

En La Unión, la temporada cálida abarca 3 meses, desde el 14 de junio hasta el 13 de septiembre, con una temperatura diaria promedio máximo superior a los 19°C. El mes más caluroso es junio, con temperaturas máximas promedio de 19°C y mínimas de 11°C. Por otro lado, la temporada fresca abarca 2,2 meses, desde el 14 de octubre hasta el 21 de diciembre, con una temperatura diaria promedio máximo inferior a los 18°C. El mes más frío es octubre, con temperaturas mínimas promedio de 11°C y máximas de 18°C.

Ilustración 2. Gráfica de temperatura mínima y máxima del municipio de La Unión – Antioquia

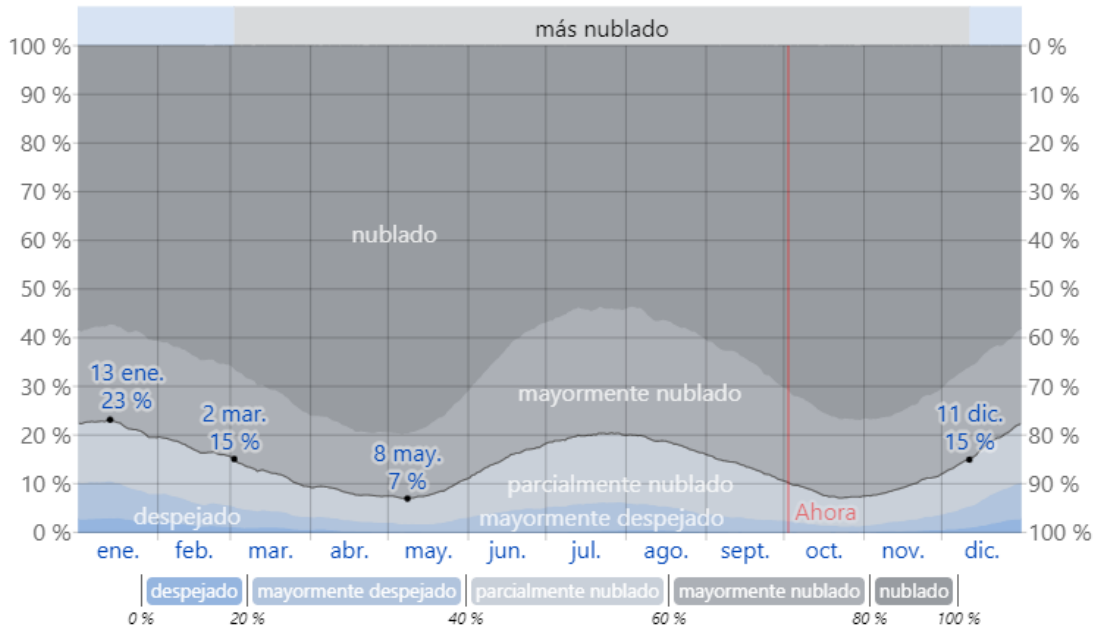


Fuente: © WeatherSpark.com

6.1.3.2. Nubosidad

En La Unión, el porcentaje promedio de cielo cubierto con nubes varía poco a lo largo del año. La época más despejada comienza alrededor del 11 de diciembre y dura 2,7 meses, finalizando alrededor del 2 de marzo. Durante el mes de enero, el cielo está mayormente despejado o parcialmente nublado el 22% del tiempo, siendo este el mes más despejado del año. Por otro lado, la época más nublada comienza alrededor del 2 de marzo y dura 9,3 meses, finalizando alrededor del 11 de diciembre. El mes más nublado del año es octubre, durante el cual el cielo está nublado o mayormente nublado el 92% del tiempo en promedio.

Ilustración 3. Gráfica de nubosidad del municipio de La Unión - Antioquia

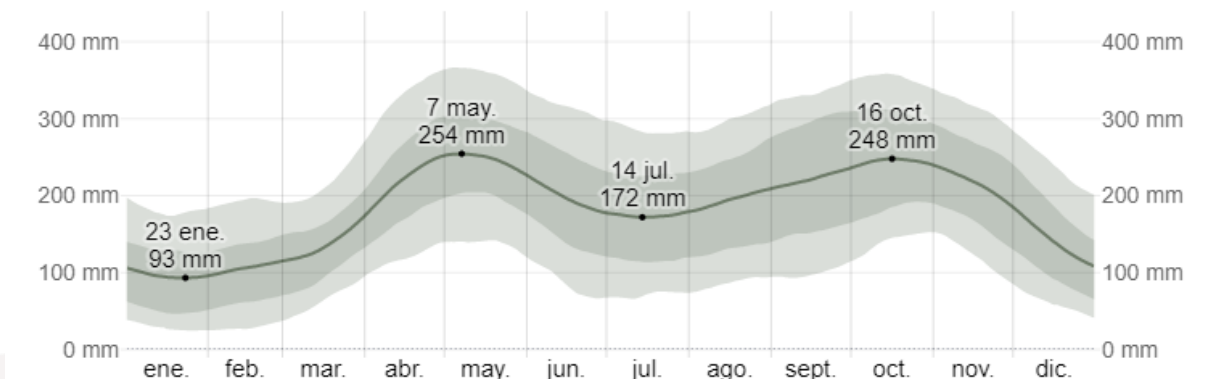


Fuente: © WeatherSpark.com

6.1.3.3. Lluvia

En La Unión, la cantidad de lluvia varía drásticamente de un mes a otro. Sin embargo, a lo largo del año se registran precipitaciones. El mes más lluvioso en La Unión es mayo, con un promedio de 251 milímetros de lluvia, mientras que el mes menos lluvioso es enero, con un promedio de 94 milímetros.

Ilustración 4. Gráfica lluvia promedio del municipio de La Unión - Antioquia

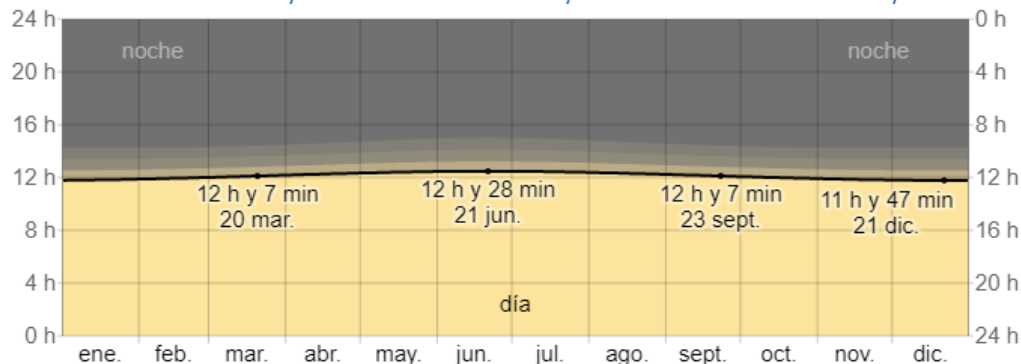


Fuente: © WeatherSpark.com

6.1.3.4. Sol

En La Unión, la duración del día apenas experimenta cambios a lo largo del año, con una variación de solo 28 minutos en las 12 horas que dura el día durante todo el año. En el año 2023, el día más corto será el 21 de diciembre, con una duración de luz natural de 11 horas y 47 minutos, mientras que el día más largo será el 21 de junio, con 12 horas y 28 minutos de luz natural.

Ilustración 5. Gráfica de sol promedio del municipio de La Unión - Antioquia

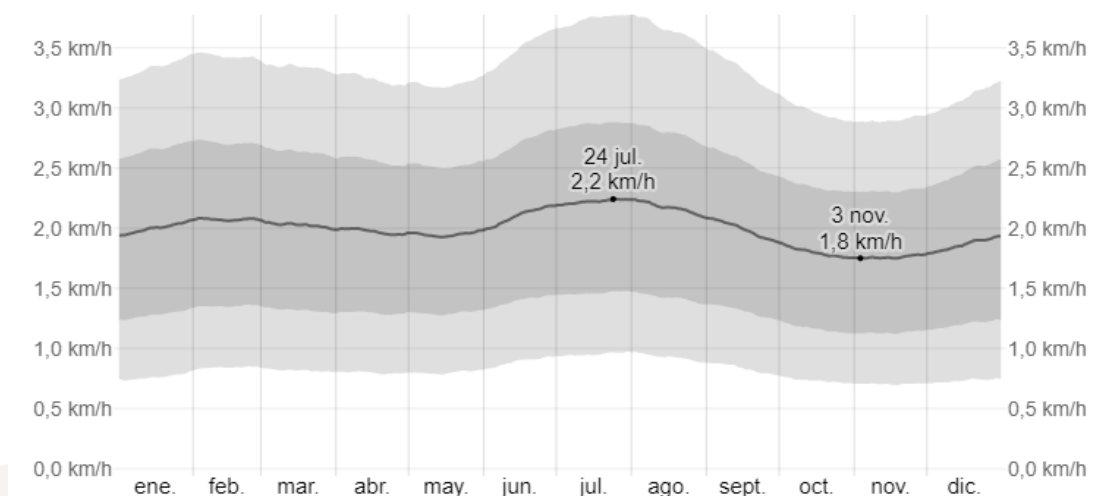


Fuente: © WeatherSpark.com

6.1.3.5. Viento

El promedio de la velocidad del viento en La Unión no sufre grandes cambios a lo largo del año y se mantiene dentro de un rango de aproximadamente 0,2 kilómetros por hora por encima o por debajo de los 2,0 kilómetros por hora.

Ilustración 6. Gráfica viento promedio del municipio de La Unión - Antioquia



 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 20 de 47		

Fuente: © WeatherSpark.com

6.1.4. Hidrografía

El Municipio de La Unión tiene una complejidad hidrográfica relativa debido al giro en forma de "U" que da el Río Piedras hacia su desembocadura en el Río Buey, lo que le da a la Cuenca del Piedras una forma poco común de herradura. Además, el encañonamiento extremo que experimentan los ríos Piedras y Buey a medida que bajan por las montañas también contribuye a la complejidad hidrográfica. El territorio del municipio está conformado exclusivamente por la Cuenca del Río Buey, que se divide en subcuencas como El Cardal, San Miguel, el Buey Alto, el Piedras y El Buey Medio, y en microcuencas que se dividen en 17 unidades. El curso del Río Piedras está formado por las microcuencas del Piedras Alto, Piedras Medio y Piedras Bajo, cuyos tamaños varían ampliamente. Es importante destacar que el Altiplano de La Unión tiene un impacto significativo en el régimen hidrográfico subregional, ya que es una zona de recarga de acuíferos, así como de quebradas y ríos pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Negro-Nare en el sector del Valle de La Ceja.

6.1.5. División político-administrativa

El Municipio de La Unión está compuesto territorialmente por la Cabecera Municipal, el Corregimiento de Mesopotamia y 25 Veredas. La mayoría de estas veredas tienen una relación directa con la Cabecera Municipal o con otros municipios limítrofes como La Ceja, El Carmen de Viboral o Abejorral. Esta situación es especialmente visible en las veredas de La Madera y Mazorcal, siendo esta última parte del municipio de El Carmen de Viboral.

6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SOCIALES

6.2.1. Economía

El municipio de La Unión, se sustenta en la producción de papa y ganadería lechera como su principal fuente económica. En la actualidad, su producción de papa alcanza las 360 toneladas semanales y cuenta con una extensión de aproximadamente 14 kilómetros cuadrados sembrados.

Ilustración 7. Indicador de Importancia Económica del municipio de La Unión – Antioquia



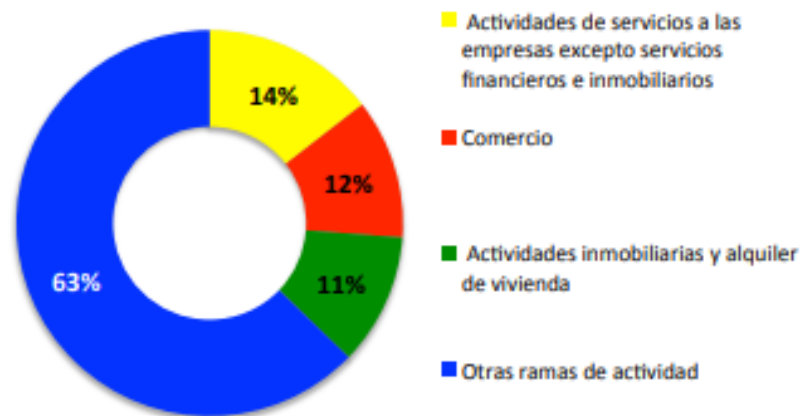
Participación del Valor Agregado Municipal sobre del Departamental 0%

* Corresponde a la relación del valor agregado municipal y el nacional

** Valor creado en el proceso de producción por efecto de la combinación de factores.

Fuente: Dane, 2011

Ilustración 8. Sectores de mayor importancia en el Valor Agregado del municipio de La Unión – Antioquia



Fuente: Dane, 2011.

6.2.2. Demografía

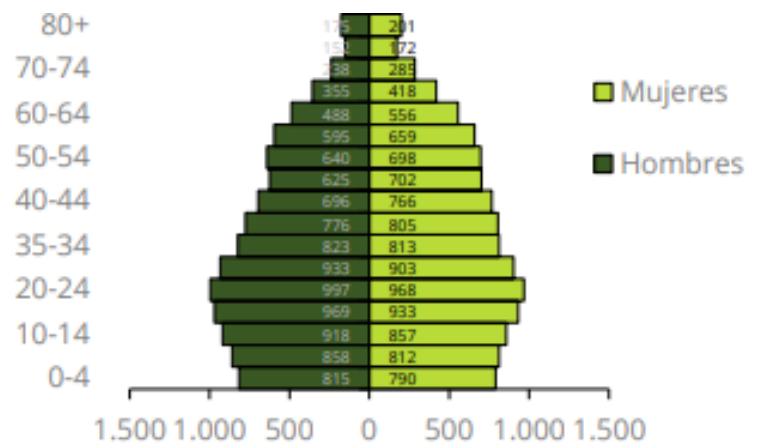
De acuerdo con las proyecciones del DANE, los habitantes de La Unión representan el 0.33% de la población total de Antioquia en 2023. El número de habitantes se divide de la siguiente manera:

Total población: 22.391

Total mujeres: 11.338

Total hombres: 11.053
Total población rural: 8.521
Total población urbana: 13.870
Población indígena: 2
Población negro, mulato o afrocolombiana: 49
Población raizal: 1

Ilustración 9. Estructura de la población del municipio de La Unión – Antioquia



Fuente: Dane, 2019

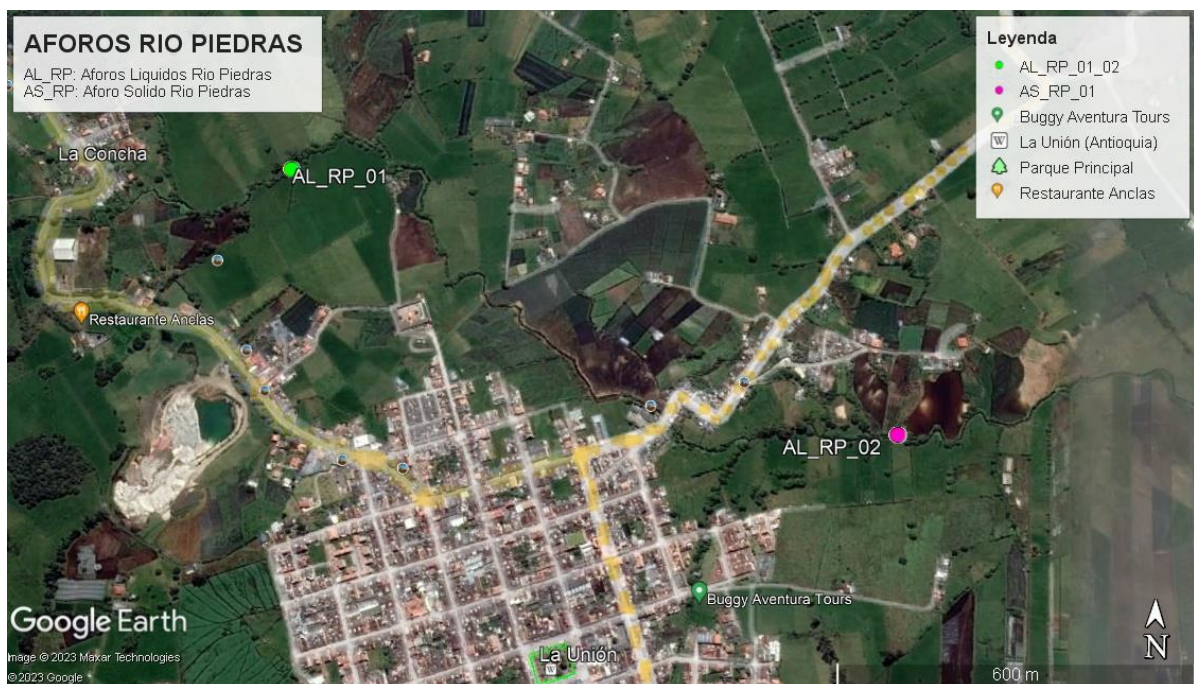
7. TRABAJO DE CAMPO

7.1. VISITA DE CAMPO Y RECONOCIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

La visita de reconocimiento en campo se hizo entre las fechas comprendidas entre el 28 al 29 de octubre de 2023, esto con el objetivo de reconocer la zona y realizar las actividades necesarias para los dos aforos líquidos y el aforo solido sobre el RIO PIEDRAS del Municipio de la Unión Antioquia.

Las coordenadas de los puntos de aforo fueron entregadas por el equipo técnico del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, el cual nos ubicaba los aforos en las siguientes coordenadas:

Ilustración 10. Ubicación Preliminar de los Aforos a Realizar en el Rio Piedras



Fuente: Politécnico Jaime Isaza Cadavid

7.2. MATERIALES Y EQUIPOS

7.2.1. Correntómetro tipo Molinete

Ilustración 11. Correntómetro Tipo Molinete



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

7.2.2. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad

Ilustración 12. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

7.2.3. Base Satelital HIPER II

Ilustración 13. Base Satelital Hiper II



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

7.2.4. GNSS Dobles Frecuencia L1/L2

Ilustración 14. GNSS GRS-1 TOPCON



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

7.2.5. Materiales (Herramienta Menor)

- Block
- Marcadores de Colores

- Resaltador
- Puntillas de 1"
- Cinta Métrica
- Nylon
- Cinta
- Guantes
- Soga de 1/2"
- Recipientes Plásticos
- Bolsas Plásticas
- Estacas de Madera

Ilustración 15. Materiales requeridos



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

8. AFOROS LIQUIDOS

8.1. MEDICION DE AFOROS DE CAUDAL EN CAMPO

Los aforos de caudal consisten en determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal de un cuerpo de agua en un instante de tiempo dado. Este valor permite, entre otros aspectos, conocer la disponibilidad hídrica del cuerpo de agua y constituye un dato útil para la estimación de las cargas contaminantes que transporta la corriente, sus tiempos de viaje, la calibración de los modelos hidráulicos e hidrológicos e, incluso, la prevención de desastres para zonas localizadas aguas abajo de la sección de aforo.

Para realizar un aforo, se debe efectuar el levantamiento de la sección transversal para el punto donde serán medidas las velocidades de agua, con el fin de obtener, por medio de una relación matemática simple (velocidad por área) el valor de caudal de agua; que resultará en unidades volumétricas por unidades de tiempo.

Este procedimiento implica las acciones coordinadas de un equipo de técnicos capacitados para efectuar dicha labor, puesto que uno de ellos debe ingresar al cuerpo de agua para efectuar la respectiva toma de niveles y longitudes de la sección transversal, y las velocidades verticales y horizontales en esta. Esta información es un insumo fundamental para los análisis de calidad y cantidad del agua, por lo que los sitios donde son efectuados deben coincidir con los puntos correspondientes a la red de monitoreo para la toma de muestras de agua y análisis fisicoquímicos.

Existen diferentes métodos para la realización de aforos volumétricos Aforos por Vadeo, Aforos por Suspensión, Aforos con Molinete y Aforo Velocidad/Superficie, en este caso los aforos realizados se realizaron con el método y Aforo Velocidad/Superficie.

- **Método velocidad/superficie**

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = A(\text{m}^2) \times V(\text{m/s})$$

La unidad métrica es m³/s. Como m³/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (L/s).

Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida. En este caso la distancia a recorrer es de 1m.

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 28 de 47		

8.1.1. Metodología

Para tener un control sobre el nivel de agua en las corrientes monitoreadas con una estación hidrometeorológica, conocer su variación y obtener un valor del caudal que circula para cada nivel, se instaló en cada estación un sensor de nivel electrónico, el cual emite una señal cada cinco minutos que genera una medida del nivel de agua en el río en tiempo real referenciado con un nivel de referencia o Datum que, en el caso de canales artificiales se hace coincidir con el punto más bajo del fondo del canal y en el caso de corrientes naturales se sitúa a una distancia por debajo del fondo del cauce.

La metodología seguida obedece a las recomendaciones del Protocolo de Monitoreo del Agua (IDEAM, 2017) y algunas recomendaciones prácticas que ha recopilado la Universidad Nacional en el ejercicio de la realización de aforos. En general, el procedimiento seguido fue el siguiente:

- Selección del sitio de aforo,
- Levantamiento topográfico,
- Determinación del nivel de banca llena,
- Selección del método de aforo líquido.

8.1.2. Selección de la sección de aforo

Con el fin de facilitar la medida, se busca un lugar que tenga ciertas características:

- Debe ser un tramo recto del cauce.
- Las líneas de flujo deben ser lo más paralelas posibles entre sí, y perpendiculares a la sección transversal.
- El lecho del canal debe ser lo más regular posible.
- No debe haber obstrucciones como rocas, troncos de árboles o plantas acuáticas en el lecho.
- La pendiente longitudinal debe ser lo más uniforme posible.
- No debe haber afluentes ni efluentes entre la sección de aforo y el sensor de nivel.

8.1.3. Medición de Aforo Líquido #01 - Río Piedras

Luego de tener de forma detallada la sección transversal del río, se procede a realizar el aforo líquido; los aforos se realizaron por vadeo en todos los casos y el método de obtención del caudal es el de área – velocidad.

El método área – velocidad consiste en subdividir la sección en secciones más pequeñas o dovelas (b1, b2, b3, b4, bn.), como se muestra a continuación, y en el centro de esas dovelas se mide la velocidad del flujo de la siguiente manera:

	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 29 de 47		

- Si la profundidad en el centro de la dovela b_j es menor o igual a 12cm se toma una lectura a 0.6 de la profundidad medida desde la superficie.
- Si la profundidad en el centro de la dovela b_j se encuentra entre 12cm y 16cm se toman 3 lecturas: a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad medida desde la superficie.
- Si la profundidad en el centro de la dovela b_j es mayor a 16 cm se toman 5 lecturas: en el fondo, a 0.2, 0.6, 0.8 de la profundidad y en la superficie.
- En la dovela más profunda se deben tomar 11 lecturas (cada 0.1 de la profundidad iniciando en el fondo de la dovela y finalizando en la superficie).

En cada una de estas dovelas se debe calcular el caudal con la siguiente ecuación:

$$Q = V * A$$

Donde,

Q , es el caudal en cada dovela (m^3/s)

A , es el área de cada sección (m^2)

V , la velocidad en la sección (m/s),

La cual se determina según la profundidad de la dovela, así:

- Para profundidades menores a 12 cm: $V = V_{0.6}$
- Para profundidades entre 12cm y 16 cm: $V = (V_{0.8} + 2 * V_{0.6} + V_{0.2}) / 4$
- Para profundidades mayores a 16cm: $V = (V_1 + 3 * V_{0.8} + 2 * V_{0.6} + 3 * V_{0.2} + V_{0.0}) / 10$

La sumatoria de los caudales en cada dovela da como resultado el caudal final del cauce; debe comprobarse que el caudal en cada dovela no supere el 20% del caudal total del río.

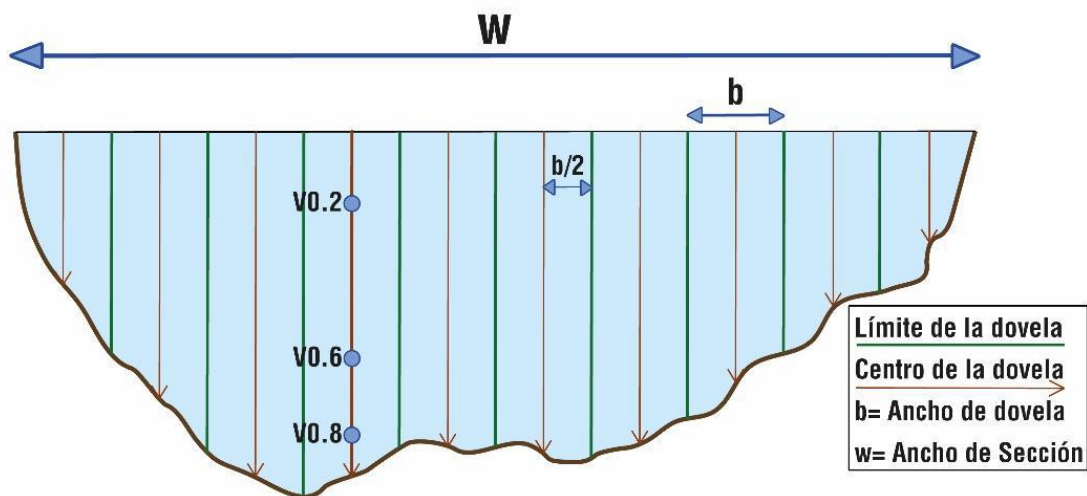
En este método, para determinar el caudal de cada dovela q_i , se multiplica la velocidad media v_i en la vertical por el área correspondiente a la dovela a_i que se aproxima como un trapecio, la cual se calcula multiplicando el ancho de la dovela b por el promedio de las profundidades de las abscisas que delimitan la dovela h_j, h_{j+1} , como lo indica la Ecuación:

$$q_i = \overline{v}_i * b * \frac{h_j + h_{j+1}}{2}$$

El caudal total que pasa por la sección se calcula con la sumatoria del caudal de cada dovela para el número de total de dovelas n , según la Ecuación:

$$Qt = \sum_{i=1}^n qi$$

Ilustración 16. Sección típica de aforo, profundidades medidas desde la superficie



Fuente: Informe de aforos de caudal líquido y sólido en quebradas y ríos del departamento de Caldas

8.2. CARACTERIZACION DE VEGETACION ALEDAÑA

El componente de vegetación y flora es parte fundamental para la consolidación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca, con base en el cual se define el potencial del bosque para su manejo y conservación como para fines de aprovechamiento a través de un uso responsable y sostenible del bosque

La vegetación que se presenta tanto en la Sección de Aforo 01 y Aforo 02 es de tipo Pastos, Maleza y/o asociaciones Herbáceas y Espacios abiertos poca vegetación.

Las laderas del río presentan bosques de baja densidad con arboles cuya altura supera los 5m.

Los taludes son verticales aproximadamente de una relación 1:1.

Ilustración 17. Cobertura Vegetal Rio Piedras



Fuente: Consultor Stoa Ingenieria de Avanzada Ltda

8.3. RESULTADOS AFOROS LIQUIDOS

8.3.1. Medición de Aforo Liquido #01 - Rio Piedras

Tabla 1 Medición de Aforo 01 – Rio Piedras

Fecha:	28/09/2023
Proyecto :	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE
Cuerpo de agua:	RIO PIEDRAS
Ancho Rio (m):	2.27
Seccion:	AFORO 01

No.	Profundidad (b) (m)	Profundidad (B) (m)	Ancho Dovela (m)	Tiempo de Medicion (s)	Vel (m/s)	Area Dovela (m2)	Caudal Q (m3/s)
1	0	0.411	1	60	0.12728	0.4675	0.0595034
2	0.411	0.523	1	60	0.138133333	0.4549	0.062836853
3	0.523	0.386	0.27	60	0.11248	0.0522	0.005871456
Total M3/s						0.9746	0.128211709

Fuente: Consultor Stoa Ingenieria de Avanzada Ltda

Con el aforo 01 se determina que el caudal que transporta el rio piedras es de 0.1282 m3/s

Tabla 2 Medición de Aforo 02 – Rio Piedras

Fecha:	28/09/2023
Proyecto :	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE
Cuerpo de agua:	RIO PIEDRAS
Ancho Rio (m):	3.52
Seccion:	AFORO 01

No.	Profundidad (b) (m)	Profundidad (B) (m)	Ancho Dovela (m)	Tiempo de Medicion (s)	Vel (m/s)	Area Dovela (m2)	Caudal Q (m3/s)
-----	---------------------	---------------------	------------------	------------------------	-----------	------------------	-----------------

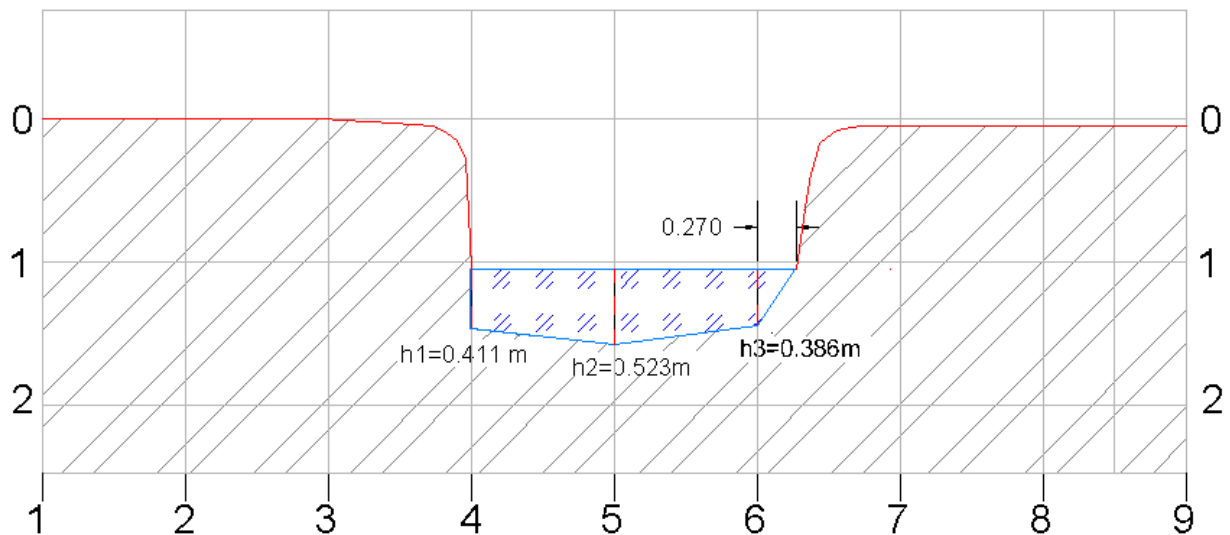
1	0	0.366	0.588	60	0.062653333	0.1076	0.006741499
2	0.366	0.493	1	60	0.125306667	0.4295	0.053819213
3	0.493	0.442	1	60	0.10212	0.4675	0.0477411
4	0.442	0	0.932	60	0.038973333	0.206	0.008028507
					Total m3/s	1.2106	0.11633032

Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Con el aforo 02 se determina que el caudal que transporta el río piedras es de 0.1163 m³/s

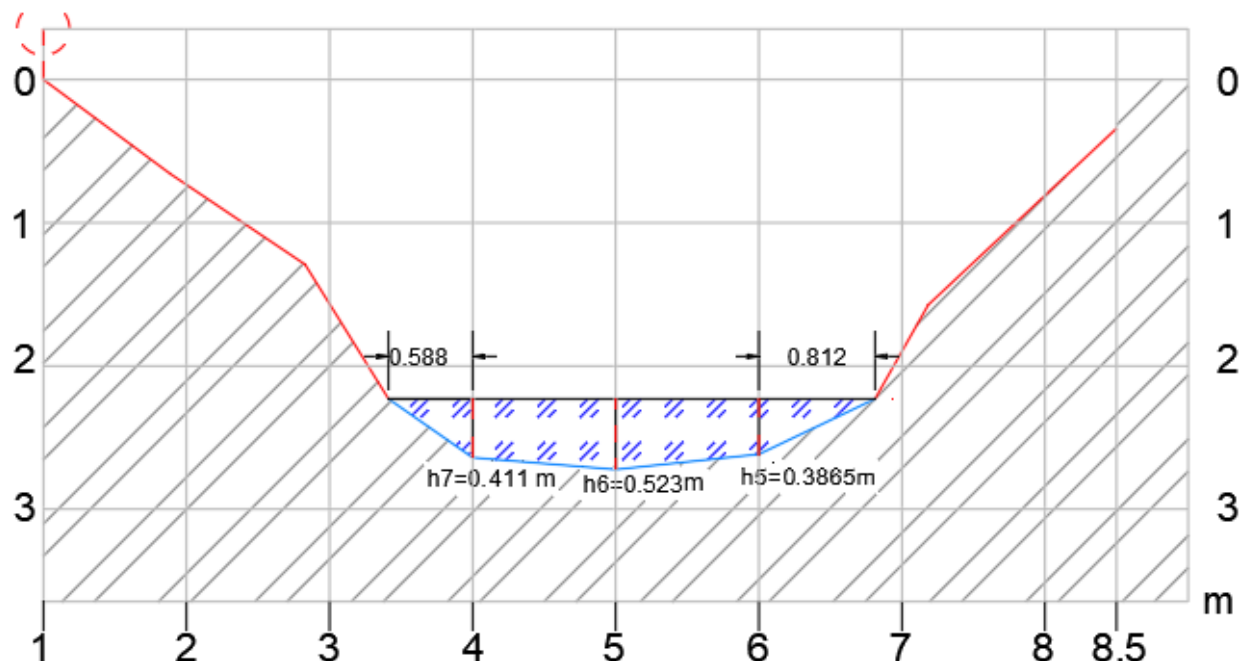
8.3.2. Sección Batimétrica

Ilustración 18. Sección Batimétrica Aforo 01 Río Piedras



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Ilustración 19. Sección Batimétrica Aforo 02 Rio Piedras



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

8.3.3. Resumen de Resultados Obtenidos

Tabla 3 Resumen de resultados Aforo 01 – Rio Piedras

SECCION:		AFORO 01				
Fecha Aforo	Profundidad Maxima (m)	Ancho de la Seccion Mojada (m)	Perimetro Mojado (m)	Area Mojada (m2)	Velocidad Media (m/s)	Caudal Medio (m3/s)
28/09/2023	0.523	2.27	5.1689	0.9746	0.13155316	0.128211709

Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Tabla 4 Resumen de resultados Aforo 02 – Rio Piedras

SECCION:	AFORO 02
-----------------	----------

Fecha Aforo	Profundidad Maxima (m)	Ancho de la Seccion Mojada (m)	Perimetro Mojado (m)	Area Mojada (m2)	Velocidad Media (m/s)	Caudal Medio (m3/s)
28/09/2023	0.493	3.52	7.2534	1.2106	0.09609311	0.116330319

Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 36 de 47		

9. AFOROS SOLIDOS

9.1. MEDICION DE AFOROS SOLIDOS EN CAMPO

El aforo sólido consiste en tomar muestras de agua en diferentes puntos de la sección de aforo, a lo ancho y en profundidad. Con base en el aforo líquido se determinan el número de verticales donde se tomarán tres muestras integradas, además de las tres muestras superficiales a 1/4, 1/2 y 3/4 del ancho de la corriente.

Dependiendo de la profundidad, se realizan aforos puntuales, destinados a conocer la distribución de la concentración de sedimentos en suspensión a lo largo de una vertical, desde la superficie hasta el fondo, o se realizan aforos integrados, mediante los cuales se toma una sola muestra representativa de toda la vertical.

9.1.1. Aforo puntual

Este tipo de aforo se utiliza en secciones profundas mayores de 5 m. Los muestreadores de tipo puntual están diseñados para que la entrada del flujo por la boquilla hacia el recipiente esté controlada por una válvula que se puede abrir o cerrar eléctricamente desde la superficie. El equipo más utilizado para esta clase de mediciones es el USP-61.

Para la medición de los sedimentos en suspensión en la vertical con el método puntual existen varias formas de selección de puntos de muestreo:

Una muestra tomada desde la superficie a una distancia igual al 60 % de la profundidad.

Dos muestras, una al 20 % y otra al 80 % de la profundidad con igual factor de ponderación.

Tres muestras tomadas al 20, 60 y 80 % de la profundidad desde la superficie con igual factor de ponderación.

Varias muestras tomadas en diferentes puntos para establecer la distribución de la concentración en la vertical con el grado de precisión requerida. Generalmente se toman muestras cada 10 % de la profundidad.

Las mediciones que se realizan por verticales no muestrean la totalidad de los sedimentos debido a que el instrumento no llega hasta el lecho mismo de la corriente. La magnitud de esta distancia, entre el lecho y el instrumento, dependerá de la forma y tamaño del equipo, del método de operación, de la consistencia o firmeza del fondo y de la presencia de formas del lecho. Como consecuencia, no todos los sedimentos de la vertical tienen la posibilidad de ser captados por el muestreador.

Dadas las variaciones en la distribución de los sedimentos finos y de las arenas a lo largo de una vertical, las concentraciones y volúmenes de transporte calculados por medio de muestras puntuales deberán determinarse tanto para la concentración total como para la concentración de arena

9.1.2. Selección de la sección de aforo

La sección para realizar el aforo solido será en la misma ubicación donde se realizarán los aforos líquidos, para este caso, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid solicito la realización de un solo aforo solido el cual deberá realizarse en la sección de aforo liquido #02, pero que, de manera que sea una muestra representativa y que se conozcan con mayor certeza los tipos de materiales que se presentan en este cauce se realizaran dos (02) aforos solidos cada uno en la ubicación de los dos (02) aforos líquidos.

9.1.3. Medición de Aforo Solidos - Rio Piedras

En campo se realizaron la recolección de materiales de fondo y suspendidos para la sección de aforo liquido 01 y 02, las cuales una vez fueron tomadas fueron trasladadas a laboratorios certificados para su evaluación y análisis.

9.1.3.1. Solidos de Fondo

La recolección se realizó mediante muestreo manual especialmente diseñado para recolectar arena, limo, grava o escombros de roca transportados por los cauces, este método es ideal para recolectar materiales de carga del lecho del cauce.

Ilustración 20. Recolección de muestra de solidos de fondo



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

9.1.3.2. Solidos Suspendidos

Método de aforos en suspensión con DH-48. Este equipo permite el muestreo de sedimentos en suspensión, integrando la muestra de agua en la vertical, es decir, desde la lámina hacia al fondo de la sección transversal (de forma manual por el operador), para lograr un muestreo significativo que pueda representar la concentración de sedimentos en el cuerpo de agua de interés.

Cada muestra es enviada a un laboratorio acreditado para determinar la concentración de sólidos suspendidos.

Para la toma de muestras se utilizó un Equipo DH-48 para muestreo de sedimentos de forma integrada en la columna de agua.

Ilustración 21. Muestreador de Sedimentos con Integración de Profundidad



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

9.2. RESULTADOS AFORO SOLIDO

9.2.1. Solidos de Fondo

Los solidos de fondo que se presentan en el Rio Piedras presentan la siguiente gradación:

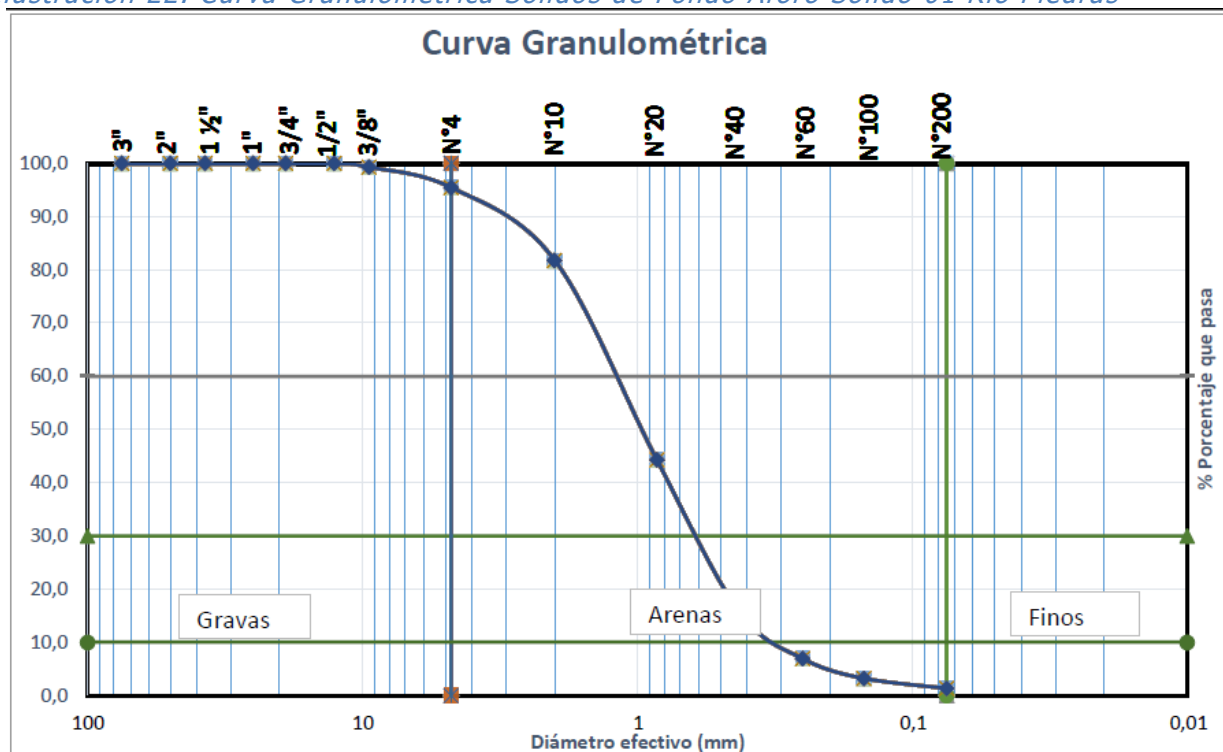
9.2.1.1. Muestra Aforo #01

Tabla 5 Tabla de Granulometría Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acomulado (%)	Pasa (%)
3"	75	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	0,0	100,0
1 ½"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25	0,0	0,0	0,0	100,0
¾"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2 "	12,7	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	6,00	0,6	0,6	99,4
No. 4	4,75	37,00	3,9	4,5	95,5
No.10	2	131,00	13,7	18,2	81,8
No.20	0,85	359,00	37,5	55,7	44,3
No.40	0,425	274,00	28,6	84,3	15,7
No.60	0,25	84,00	8,8	93,1	6,9
No.100	0,15	35,00	3,7	96,8	3,2
No.200	0,075	18,00	1,9	98,6	1,4
Fondo	0	13,00	1,4	100,0	

Fuente: Consultor Stoa Ingenieria de Avanzada Ltda

Ilustración 22. Curva Granulométrica Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras



Fuente: Consultor Stoa Ingenieria de Avanzada Ltda

Tabla 6 Resultados Gradación Solidos de Fondo Aforo Solido 01 Rio Piedras

Resultados Gradacion	
GRAVA (%) =	4,49
ARENA (%) =	94,15
FINOS (%) =	1,36
ERROR (%) =	0,00
Diámetros Efectivos	
D ₁₀ (mm) =	0,340
D ₃₀ (mm) =	0,600
D ₆₀ (mm) =	1,200
Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	3,53
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	0,88

Fuente: Consultor Stoa Ingenieria de Avanzada Ltda

Según la granulometría y demás parámetros de la muestra se tiene que el material de fondo del rio piedras en el aforo 01 se cataloga según la Clasificación U.S.C.S. Como un SP Arena mal graduada.

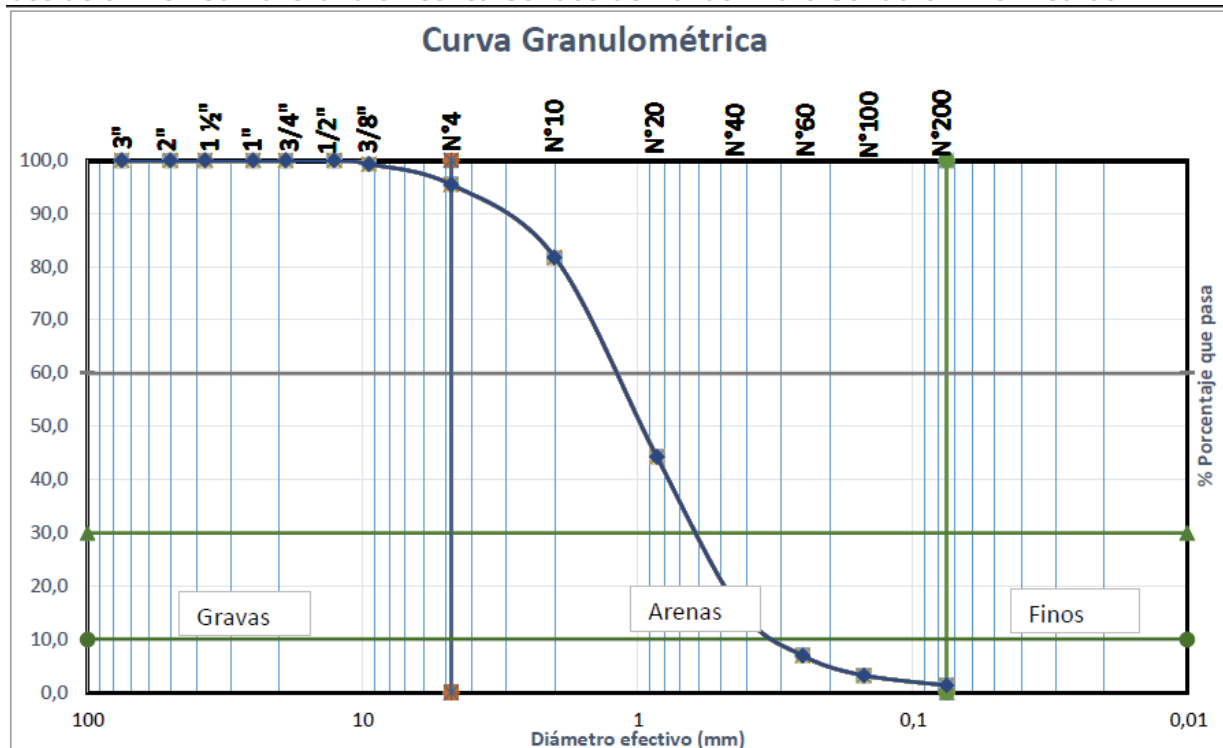
9.2.1.2. Muestra Aforo #02

Tabla 7 Tabla de Granulometría Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acomulado (%)	Pasa (%)
3"	75	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	0,0	100,0
1 ½"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25	0,0	0,0	0,0	100,0
¾"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
½"	12,7	2,0	0,3	0,3	99,7
⅜"	9,5	4,00	0,5	0,8	99,2
No. 4	4,75	14,00	1,8	2,5	97,5
No.10	2	91,00	11,5	14,1	85,9
No.20	0,85	424,00	53,7	67,8	32,2
No.40	0,425	169,00	21,4	89,2	10,8
No.60	0,25	50,00	6,3	95,6	4,4
No.100	0,15	17,00	2,2	97,7	2,3
No.200	0,075	8,00	1,0	98,7	1,3
Fondo	0	10,00	1,3	100,0	

Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Ilustración 23. Curva Granulométrica Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras



Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Tabla 8 Resultados Gradación Solidos de Fondo Aforo Solido 02 Rio Piedras

Resultados Gradacion	
GRAVA (%) =	2,53
ARENA (%) =	96,20
FINOS (%) =	1,27
ERROR (%) =	0,00
Diámetros Efectivos	
D ₁₀ (mm) =	0,420
D ₃₀ (mm) =	0,800
D ₆₀ (mm) =	1,300
Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	3,10
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	1,17

Fuente: Consultor Stoa Ingeniería de Avanzada Ltda

Según la granulometría y demás parámetros de la muestra se tiene que el material de fondo del rio piedras en el aforo 02 se cataloga según la Clasificación U.S.C.S. Como un SP Arena mal graduada.

Por lo que se puede concluir que el material de arrastre tanto aguas arriba como aguas abajo en el Rio Piedras es el mismo y que en el recorrido entre los aforos no hay modificación del material de arrastre.

9.2.2. Solidos Suspendidos

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se consideran como la cantidad de residuos retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de 0.45 micras y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (CAN, 2005).

La concentración de Solidos Suspendidos obtenidos en laboratorio fue de: 18.5 ± 1.4 mg SST/L y que los solidos suspendidos que se presentan son de tipo arena con presencia de material orgánico.

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	 stoa INGENIERIA DE AVANZADA
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 43 de 47		

Los Sólidos Suspendidos Totales se interpretan de acuerdo a las normas establecidas para vertimientos de residuos líquidos, ya que no se ha reglamentado la valoración de la calidad de agua de las aguas continentales. Sin embargo, Ramírez y Viña (1998) establecen un valor límite de 150 mg/L de SST que al ser sobrepasado se consideraría un cuerpo de agua contaminado.

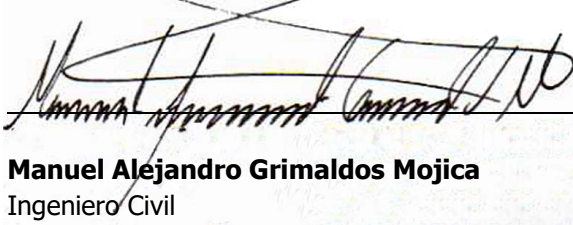
	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE."	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 44 de 47		

10.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La visita de reconocimiento en campo se hizo entre las fechas comprendidas entre el 28 de octubre de 2023, esto con el objetivo de reconocer la zona y realizar las actividades necesarias para los dos aforos líquidos y el aforo solido sobre el RIO PIEDRAS del Municipio de la Unión Antioquia.
- La vegetación que se presenta tanto en la Sección de Aforo 01 y Aforo 02 es de tipo Pastos, Maleza y/o asociaciones Herbáceas y Espacios abiertos poca vegetación.
- Las laderas del rio presentan bosques de baja densidad con arboles cuya altura supera los 5m.
- Los taludes son verticales aproximadamente de una relación 1:1
- Con el aforo 01 se determina que el caudal que transporta el rio piedras es de 0.116 m³/s
- El área mojada de la sección del 01 es de 1.2106 m²
- El perímetro Mojado de la sección del aforo 01 es de 7.2534 m
- Con el aforo 02 se determina que el caudal que transporta el rio piedras es de 0.1146 m³/s
- El área mojada de la sección del 02 es de 1.1687 m²
- El perímetro Mojado de la sección del aforo 02 es de 7.0252 m
- La sección para realizar el aforo solido fue en la misma ubicación donde se realizaron los aforos líquidos, para este caso, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid solicito la realización de un solo aforo solido el cual deberá realizarse en la sección de aforo liquido #02, pero que, de manera que sea una muestra representativa y que se conozcan con mayor certeza los tipos de materiales que se presentan en este cauce se realizaran dos (02) aforos solidos cada uno en la ubicación de los dos (02) aforos líquidos.
- Según la granulometría y demás parámetros de la muestra se tiene que el material de fondo del rio piedras en el aforo 01 se cataloga según la Clasificación U.S.C.S. Como un SP Arena mal graduada.
- Según la granulometría y demás parámetros de la muestra se tiene que el material de fondo del rio piedras en el aforo 02 se cataloga según la Clasificación U.S.C.S. Como un SP Arena mal graduada.

- Por lo que se puede concluir que el material de arrastre tanto aguas arriba como aguas abajo en el Rio Piedras es el mismo y que en el recorrido entre los aforos no hay modificación del material de arrastre.
- La concentración de Solidos Suspendidos obtenidos en laboratorio fue de: 18.5 ± 1.4 mg SST/L y que los solidos suspendidos que se presentan son de tipo arena con presencia de material orgánico.

Director Consultoría




Manuel Alejandro Grimaldos Mojica

Ingeniero Civil

M.P. 17202-107325

Magister En Ingeniería Civil Con Énfasis En
Hidráulica, Hidrología Y Medio Ambiente.

Profesional De Apoyo



Diego Aarón Rodríguez Cumplido

Ingeniero Civil

M.P. 081037-0586302 COR

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 46 de 47		

11. BIBLIOGRAFIA

Duarte Agudelo, C. (2007). Introducción a la hidráulica de canales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

IDEAM. (2017). Protocolo de Monitoreo del Agua. Bogotá: IDEAM.

IMHEA. (2013). Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas Andinos. Quito: IMHEA.

ISO 2537:2007(E). (2007). Hydrometry - Rotating element - Current meters. Switzerland: International Standard.

OTT. (2015). Instrucciones de manejo minimolinetete C2. Alemania: OTT Hydromet.

OTT Hydromet. (2016). Datos Técnicos OTT MF pro. Alemania: OTT Hydromet.

PNNC. (2017). Programa de Equipos de Medición. Bogotá: Parques Nacionales Naturales de Colombia.

WMO. (2010). Manual on Stream Gauging Volumen I - Fieldwork. Ginebra: World Meteorological Organisation.

WMO. (2011). WMO 168: Guía de Prácticas Hidrológicas Volumen I, Hidrología: de la Medición a la Información Hidrológica. Ginebra: World Meteorological Organisation.

WMO-No 49. (2006). Reglamento Técnico Volumen III - Hidrología. Ginebra: World Meteorological Organisation.

COMUNIDAD ANDINA. Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, 2005. p. 31-45.

RAMIREZ GONZÁLEZ, Alberto y VIÑA VIZCAÍNO, Gerardo. Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, 1998. 293 p.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM – Subdirección de Hidrología. Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19ed., New York, 1995. pp 2-53 a 2-58

 POLITÉCNICO COLOMBIANO Jaime Isaza Cadavid	VERSIÓN 01	SERVICIOS TÉCNICOS DE APOYO PARA REALIZAR AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN EL MARCO DEL CONTRATO N° CI-272 DE 2023 SUSCRITO CON CORNARE.”	
	REVISIÓN 00		
	DC-STOA-DT		
	Página 47 de 47		

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

RODIER, J. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, 1981.

SAWYER, C.; McCARTY, P. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill, New York, 1996.

GARAY, J., PANIZZO, L., LESMES, L., RAMIREZ, G., SANCHEZ, J, Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos. Tercera edición. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena, 1993.