| **PROYECTO:** ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA TRÁMITE DE PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCE PARA CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN | | |
|---|---|---|
| **DIRECTOR DE PROYECTO:** CÉSAR M. PRIETO G. | **CLIENTE:** ALCALDÍA MUNICIPAL DE NEMOCÓN | **CONTRATO No:** CO1.PCCNTR.8527478 |

| | |
|---|---|
| **TITULO DEL DOCUMENTO:** | ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN RÍO NEUSA |
| **CÓDIGO:** | **1946-001-HID_POC_NEM-V0** |

| **ELABORÓ:** | **REVISÓ:** | **APROBÓ:** |
|---|---|---|
| **NOMBRE:** Iván Guillermo Vargas Mateus<br>**CARGO:** Especialista Hidráulico | **NOMBRE:** César Mauricio Prieto Gamboa<br>**CARGO:** Director de proyecto | **NOMBRE:** César Mauricio Prieto Gamboa<br>**CARGO:** Director de proyecto |
| **FECHA**: 24/12/2025 | **FECHA**: 24/12/2025 | **FECHA**: 24/12/2025 |

## CUADRO DE CONTROL

| VERSIÓN | DESCRIPCIÓN MODIFICACIÓN |
|---|---|
| 1 | Emisión del documento |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| | VERSIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | | | | | |
| **Elaboró:** | Iván Guillermo Vargas Mateus. Especialista Hidráulico | | | | | |
| **Fecha:** | 24/12/2025 | | | | | |
| **Revisó:** | Cesar Mauricio Prieto Gamboa Director de proyecto | | | | | |
| **Fecha:** | 24/12/2025 | | | | | |
| **Aprobó:** | Cesar Mauricio Prieto Gamboa. Director de proyecto | | | | | |
| **Fecha:** | 24/12/2025 | | | | | |

| SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD | |
|---|---|
| **VERSIÓN DE LA PLANTILLA** | **FECHA DE VIGENCIA DE LA PLANTILLA** |
| 1 | 24/12/2025 |
| | |
| | |

# TABLA DE CONTENIDO

**1. INTRODUCCIÓN ..... 9**

**2. OBJETIVOS ..... 10**

**2.1 OBJETIVO GENERAL ..... 10**

**2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 10**

2.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN ..... 10

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO ..... 10

2.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO HIDRÁULICO ..... 10

2.2.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL ESTUDIO SOCAVACIÓN ..... 10

**3. ASPECTOS GENERALES ..... 11**

**3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO ..... 11**

**4. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ..... 13**

**4.1 INFORMACIÓN CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 3250078 ..... 13**

4.1.1 TRAZADO LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE ..... 13

4.1.1.1 TRAMO 1 - ENTRE LA PTAP REGIONAL Y LA PLAZUELA ..... 14
4.1.1.2 TRAMO 2 - ENTRE LA PLAZUELA Y EL HOTEL CAMPESTRE LA QUINTA ..... 15
4.1.1.3 TRAMO 3 - ENTRE EL HOTEL CAMPESTRE LA QUINTA Y AGRÍCOLA EL REDIL S.A.S ..... 17
4.1.1.4 TRAMO 4 - ENTRE AGRÍCOLA EL REDIL S.A.S Y LA VÍA PRINCIPAL ZIPAQUIRÁ – NEMOCÓN ..... 19
4.1.1.5 TRAMO 5 - SOBRE LA VÍA ZIPAQUIRÁ NEMOCÓN HASTA LA ESTACIÓN DE SERVICIO PETROBRAS ..... 20
4.1.1.6 TRAMO 6 - ENTRE LA ESTACIÓN DE SERVICIO PETROBRAS Y EL HOSPITAL DE NEMOCÓN ..... 22
4.1.1.7 TRAMO 7 - ENTRE EL HOSPITAL DE NEMOCÓN Y LA CARRERA 6 CON CALLE 7ª A ..... 24
4.1.1.8 TRAMO 8 - ENTRE LA CARRERA 6 CON CALLE 7ª A Y LA BIBLIOTECA EL FUTURO ..... 26
4.1.1.9 TRAMO 9 - ENTRE LA BIBLIOTECA EL FUTURO Y EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PERICO ..... 27
4.1.1.10 TRAZADO EN PERFIL ..... 28

4.1.2 CRUCES DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN A CUERPOS DE AGUA ..... 29

4.1.2.1.1 Quebrada la Barragana ..... 29
4.1.2.1.2 Río Neusa ..... 30
4.1.2.1.3 Acequia La Toma y Río Checua ..... 31

4.1.3 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA ..... 32

4.1.4 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA ..... 34

**5. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO ..... 36**

5.1.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL Y TOTAL MULTIANUAL ..... 36
5.1.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ..... 38

**6. ESTUDIO HIDROLÓGICO ..... 40**

**6.1 INTRODUCCIÓN ..... 40**
**6.2 CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL PROYECTO. ..... 40**
**6.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAs CUENCAs HIDROGRÁFICAs ..... 41**
**6.4 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA ..... 44**
**6.5 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTANEOS ..... 46**
6.5.1 INTRODUCCIÓN ..... 46
6.5.2 ÁREA DE DRENAJE ..... 47
6.5.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA LLUVIA ..... 47
6.5.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ..... 50
6.5.5 FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA LLUVIA PUNTUAL POR ÁREA DE DRENAJE ..... 52
6.5.6 DEFINICIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO ..... 53
6.5.7 DEFINICIÓN DE NÚMERO DE CURVA (CN) ..... 54
6.5.8 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE ..... 56
6.5.9 MODELO HEC-HMS ..... 57
6.5.10 DESCRIPCIÓN MODELACIÓN HEC-HMS ..... 61
6.5.11 RESULTADOS MODELACIÓN HEC-HMS ..... 62
6.5.12 JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS ..... 63
6.5.12.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia ..... 63
6.5.12.2 Tiempo de Concentración ..... 63
6.5.12.3 Modelo de computador HEC-HMS ..... 63

**7. ESTUDIO HIDRÁULICO ..... 63**

**7.1 INTRODUCCIÓN ..... 63**
**7.2 MODELO COMPUTACIONAL HEC-RAS ..... 64**
7.2.1 CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS ..... 64
7.2.2 VARIABLES DE ENTRADA ..... 66
7.2.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA ..... 68

**8. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN ..... 70**

**8.1 INTRODUCCIÓN ..... 70**
**8.2 SOCAVACIÓN GENERALIZADA ..... 70**

**9. CONCLUSIONES ..... 75**

**10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 77**

**11. ANEXOS ..... 78**

- **ANEXO 1. INFORMACIÓN RECOPILADA ..... 78**
- **ANEXO 2. HIDROLOGÍA ..... 78**
- **ANEXO 3. HIDRÁULICA ..... 78**
- **ANEXO 4. SOCAVACIÓN ..... 78**

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Región. ..... 32
Tabla 2. Hojas cartográficas utilizadas. ..... 34
Tabla 3. Precipitación Media Mensual y Anual Multianual. ..... 36
Tabla 4. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual Multianual. Estación CHECUA-NEMOCON [21205400]. ..... 38
Tabla 5. Características morfométricas de las cuencas hidrográficas ..... 42
Tabla 6. Formas de la Cuenca de acuerdo al Índice de Gravelius ..... 43
Tabla 7. Factor de Forma Aproximados ..... 44
Tabla 8. Estación Pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400] Curvas IDF. Valores [mm/h] ..... 45
Tabla 9. Características morfométricas de las cuencas principales. ..... 47
Tabla 10. Curvas de Masas de Aguaceros Puntuales. (Valores en mm). ..... 48
Tabla 11. Incrementos de Lluvias Puntuales Hietogramas de Precipitación. (Valores en mm). ..... 48
Tabla 12. Incrementos Arreglados Hietogramas de Precipitación. (Valores en mm). ..... 49
Tabla 13. Tiempos de Concentración ..... 51
Tabla 14. Factor de Reducción por Área ..... 53
Tabla 15. Incrementos Arreglados de Lluvias Espaciales de Los Hietogramas De Precipitación. Área De Influencia de la Cuenca del Río Neusa. (Valores en mm). ..... 54
Tabla 16. Curva Número por Área. ..... 55
Tabla 17. Abstracción Inicial por Área. ..... 56
Tabla 18. Elementos y descripción en HEC-HMS. ..... 58
Tabla 19. Tipos de pérdidas y sus métodos. ..... 59
Tabla 20. Tipos de datos y métodos. ..... 59
Tabla 21. Método de entrada de datos y su descripción. ..... 60
Tabla 22. Caudales Máximos Instantáneos para Diferentes Periodos de Retorno. ..... 63
Tabla 23. Río Neusa Estación 140- Resultados Modelación Hidráulica TR 100 Años ..... 70
Tabla 24. Cálculo de la Socavación Generalizada Suelos No Cohesivos – Río Neusa. ..... 73

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Localización Municipio de Nemocón. ..... 11
Figura 3-2. Ubicación de la línea de conducción proyectada. ..... 12
Figura 4-1. Ubicación de la línea de conducción proyectada Contrato No. 3250078. ..... 14
Figura 4-2. Tramo 1 Línea de Conducción. ..... 14
Figura 4-3. Vías por intervenir – Tramo 1. ..... 15
Figura 4-4. Tramo 2 Línea de Conducción. ..... 16
Figura 4-5. Cruce vial tramo 2. ..... 16
Figura 4-6. Vías por intervenir – Tramo 2. ..... 17
Figura 4-7. Tramo 3 Línea de Conducción. ..... 17
Figura 4-8. Cruce Vial Doble Calzada Zipaquirá – Ubaté – Tramo 3. ..... 18
Figura 4-9. Vías por intervenir – Tramo 3. ..... 18
Figura 4-10. Tramo 4 Línea de Conducción. ..... 19
Figura 4-11. Vías por intervenir – Tramo 4. ..... 20
Figura 4-12. Tramo 5 Línea de Conducción. ..... 21
Figura 4-13. Vías por intervenir – Tramo 5. ..... 21
Figura 4-14. Tramo 6 Línea de Conducción. ..... 22
Figura 4-15. Cruce Vial Tramo 6. ..... 23
Figura 4-16. Vías por intervenir – Tramo 6. ..... 23
Figura 4-17. Tramo 7 Línea de Conducción. ..... 24
Figura 4-18. Cruce Vial Tramo 7. ..... 25
Figura 4-19. Vías por intervenir – Tramo 7. ..... 25
Figura 4-20. Tramo 8 Línea de Conducción. ..... 26
Figura 4-21. Vías por intervenir – Tramo 8. ..... 27
Figura 4-22. Tramo 9 Línea de Conducción. ..... 27
Figura 4-23. Vías por intervenir – Tramo 9. ..... 28
Figura 4-24. Perfil de elevaciones de la línea de impulsión. ..... 29
Figura 4-25. Cruce Quebrada La Barragana ..... 29
Figura 4-26. Quebrada la Barragana ..... 30
Figura 4-27. Cruce Río Neusa ..... 30
Figura 4-28. Río Neusa ..... 31
Figura 4-29. Acequia La Toma y Río Checua ..... 31
Figura 4-30. Acequia La Toma ..... 32
Figura 4-31. Río Checua ..... 32
Figura 4-32. Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Región. ..... 33
Figura 4-33. Polígonos de Thiessen – Zona de Proyecto. ..... 34
Figura 4-34. Hojas cartográficas IGAC. ..... 35
Figura 5-1. Precipitación máxima diaria Estación CHECUA-NEMOCON [21205400]. ..... 37
Figura 5-2. Caja y Bigotes (Box Plot) Datos de Precipitación Máxima en 24 Horas. Estación Pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400] ..... 40
Figura 6-1. Cuencas Hidrográficas de la zona de estudio. ..... 41
Figura 6-2. Cuencas Hidrográficas del proyecto. ..... 41
Figura 6-3. Pendiente Media Ponderada Cuenca Proyecto. ..... 42
Figura 6-4. Estación Pluviométrica Checua Nemocon. Curvas IDF. ..... 46

Figura 6-5. Cuencas Hidrográficas Modelación HEC-HMS. ..... 47
Figura 6-6. Cobertura del Suelo – Cuencas Hidrográficas. ..... 55
Figura 6-7. Características de Entrada de la Cuenca Modelo HEC-HMS ..... 61
Figura 6-8. Modelo Meteorológico Hietograma Especificado. Modelo HEC-HMS ..... 62
Figura 6-9. Hidrograma de Creciente para un Periodo de Retorno de 100 años ..... 62
Figura 7-1. Topología Modelo Hidráulico. ..... 66
Figura 7-2. Resultados Modelación Hidráulica – Cruce Río Neusa. ..... 69
Figura 8-1. Perfil de Socavación Generalizada Suelos No Cohesivos – Río Neusa. ..... 74

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación cruce Río Neusa. ..... 67

# 1. INTRODUCCIÓN

El Municipio de Nemocón de conformidad con lo establecido en el Artículo 3º de la Ley 1551 de 2012, tiene como función promover el desarrollo de su territorio y construir las proyectos que demande el progreso municipal, elaborar e implementar los planes integrales de seguridad ciudadana, mantener el orden público, garantizar la convivencia pacífica entre sus habitantes, promover el mejoramiento social, económico y cultural de sus habitantes, procurar la solución de las necesidades básicas insatisfechas de sus habitantes y garantizar la prestación de servicios de agua potable y saneamiento básico.

De acuerdo con lo anterior, la Unidad de Servicios Públicos de Nemocón dentro de sus funciones adelanta actualmente la actualización de los Estudios y Diseños del proyecto denominado CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN, contemplando en su alcance la optimización de la línea de conducción proveniente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el almacenamiento en el sector El Perico, y presentando cruces con 3 cauces: Río Neusa, Acequia La Toma y Río Checua.

En este orden de ideas, en la ejecución de la mencionada actualización de los Estudios y Diseños del proyecto denominado CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN se proyecta la construcción de la tubería de conducción de agua potable, que cruza los cauces: Río Neusa (Latitud 5°5’0.043”N, Longitud 73°56’4.11”W), Acequia La Toma (Latitud 5°3’41.86”N, Longitud 73°55’8.694”W) y Río Checua (Latitud 5°3’41.729”N, Longitud 73°55’8.3”W) con la finalidad de transportar el caudal correspondiente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el sistema de almacenamiento Perico. Por lo cual se ha determinado la necesidad de obtención del Permiso de Ocupación de Cauce por Construcción u optimización de acueductos o alcantarillados -sanitario, pluvial o combinado, cuando por efecto de la construcción u optimización sea necesaria la intervención de un cauce (viaductos, pasos subfluviales, entre otros).

El siguiente informe presenta la recopilación de información para la elaboración del estudio hidrológico, hidráulico y de socavación de crecientes del proyecto “ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA TRÁMITE DE PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCE PARA CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN.”

# 2. OBJETIVOS

## 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios y diseños necesarios para el trámite de permiso de ocupación de cauce para construcción de Fase 1 Plan Maestro de Acueducto del casco urbano del municipio de Nemocón, Cundinamarca.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### 2.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

- Realizar la recopilación y análisis de la Información secundaria relacionada con el alcance de los Estudios y Diseños para el Trámite de Permiso de Ocupación de Cauce incluyendo la documentación y procesamiento de la información del proyecto CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN y generalidades de la zona.
- Realizar un análisis técnico referente a las condiciones de diseño establecidas en el proyecto de Plan Maestro y la influencia que estas tienen en el trámite de permiso de ocupación de cauce. Las condiciones abarcan el trazado, las características de la tubería (material, diámetro, especificación), la profundidad de instalación diseñada, la tecnología de instalación y los elementos estructurales determinados en los cruces de los cuerpos de agua cuyo permiso de ocupación se cubre en el trámite.

### 2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Definir las cuencas aferentes a la zona de proyecto, calculando área de drenaje, longitud del cauce principal, elevaciones máximas y mínimas, y demás características morfométricas de la cuenca.
- Cuantificar los caudales máximos instantáneos para las corrientes aferentes a la zona de proyecto, con el fin de definir el comportamiento hidráulico. Referente a lo anterior, se evalúa el componente hidrológico para periodos de diseño de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### 2.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO HIDRÁULICO

- Realizar el estudio hidráulico de las corrientes, específicamente en el punto donde se proyecta el cruce con las redes proyectadas, determinando niveles de la lámina de agua y velocidades de la corriente.

### 2.2.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL ESTUDIO SOCAVACIÓN

- Realizar el estudio de socavación con el fin de determinar la profundidad teórica que se puede llegar a dar debido a los procesos erosivos debido a la corriente.

# 3. ASPECTOS GENERALES

## 3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Nemocón es un municipio del departamento de Cundinamarca, ubicado en la provincia de Sabana Centro. Se encuentra a aproximadamente 65 kilómetros al norte de Bogotá, lo que representa alrededor de 1 hora y 30 minutos de viaje en automóvil. Este municipio es conocido por su clima templado y su rica historia minera, especialmente por las minas de sal que han sido explotadas desde tiempos prehispánicos.

**Historia:** La historia de Nemocón se remonta a la época prehispánica, cuando el territorio era habitado por los indígenas muiscas. El municipio fue fundado oficialmente el 26 de abril de 1600. A lo largo de los siglos, Nemocón ha mantenido sus tradiciones y se ha desarrollado como un importante centro minero y agrícola de la región.

**Geografía:** Situado en la Sabana de Bogotá, Nemocón tiene una altitud de aproximadamente 2,600 metros sobre el nivel del mar. El municipio está rodeado de montañas y cuenta con varios cuerpos de agua, como ríos y quebradas, que enriquecen su paisaje natural.

**Economía:** La economía de Nemocón se basa principalmente en la minería, destacándose la explotación de sal. La agricultura también es una actividad económica importante, con el cultivo de papa, maíz y hortalizas. Además, el turismo ha ganado relevancia en los últimos años, atrayendo a visitantes interesados en la historia y la naturaleza del municipio.

**Cultura:** La cultura de Nemocón está marcada por sus tradiciones y festividades religiosas. Las fiestas en honor a San Francisco de Asís son eventos destacados que reúnen a la comunidad. La música, la danza y las artesanías locales son aspectos importantes de la vida cultural del municipio.

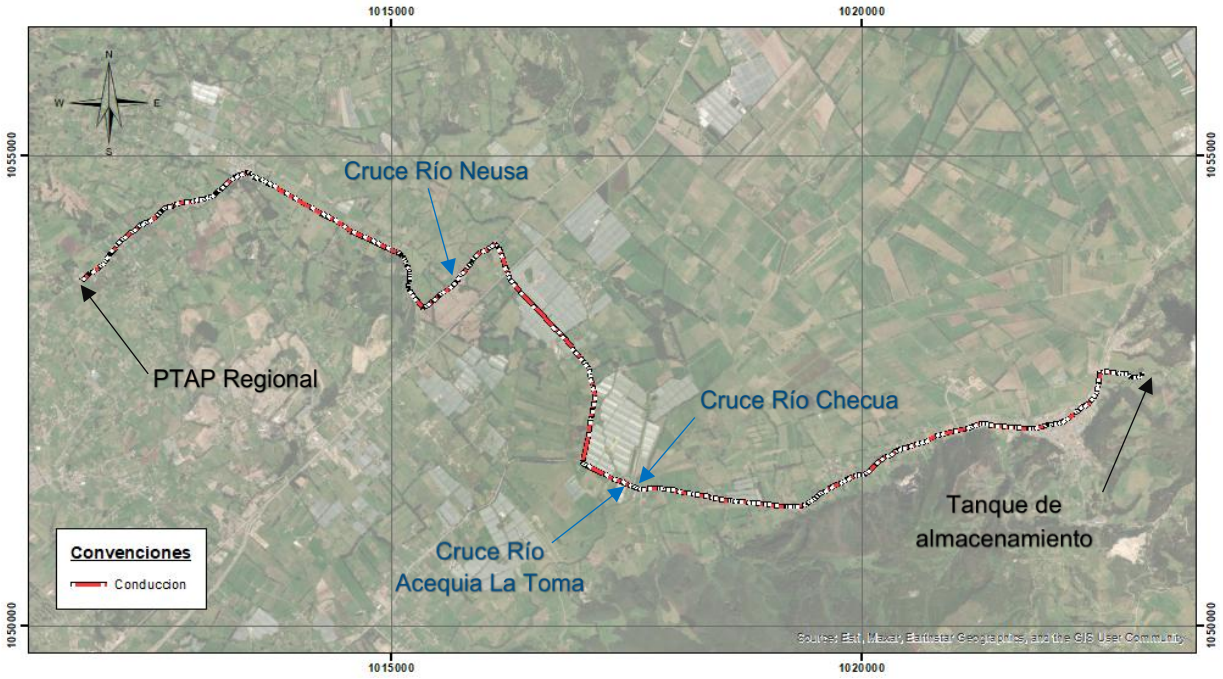
**Figura 3-1. Localización Municipio de Nemocón.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Google Maps.**

La Unidad de Servicios Públicos de Nemocón dentro de sus funciones adelanta actualmente la actualización de los Estudios y Diseños del proyecto denominado CONSTRUCCIÓN DE FASE 1 PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN, contemplando en su alcance la optimización de la línea de conducción proveniente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el almacenamiento en el sector El Perico.

**Figura 3-2. Ubicación de la línea de conducción proyectada.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

En este orden de ideas, en la ejecución de la mencionada actualización de los Estudios y Diseños se proyecta la construcción de la tubería de conducción de agua potable, que cruza los cauces: Río Neusa (Latitud 5°5'0.043"N, Longitud 73°56'4.11"W), Acequia La Toma (Latitud 5°3'41.86"N, Longitud 73°55'8.694"W) y Río Checua (Latitud 5°3'41.729"N, Longitud 73°55'8.3"W) con la finalidad de transportar el caudal correspondiente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el sistema de almacenamiento Perico.

Por lo anterior, se ha determinado la necesidad de obtención del Permiso de Ocupación de Cauce por motivo de (Según Acuerdo CAR) "Construcción u optimización de acueductos o alcantarillados -sanitario, pluvial o combinado, cuando por efecto de la construcción u optimización sea necesaria la intervención de un cauce (viaductos, pasos subfluviales, entre otros)."

# 4. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

## 4.1 INFORMACIÓN CONTRATO DE CONSULTORÍA NO. 3250078

El CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 3250078 tuvo como objeto realizar la "PRESTACIÓN DE SERVICIOS PARA LA REALIZACION DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO DE LA RED PRINCIPAL DE DISTRIBUCION DEL MUNICIPIO DE NEMOCON-CUNDINAMARCA".

El alcance contractual se estructuró de la siguiente manera:

- Actualización de los diseños de la línea de conducción PTAP Regional Cogua – Sistema de Almacenamiento Perico.
- Actualización de los diseños Tanque Perico 3

### 4.1.1 TRAZADO LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

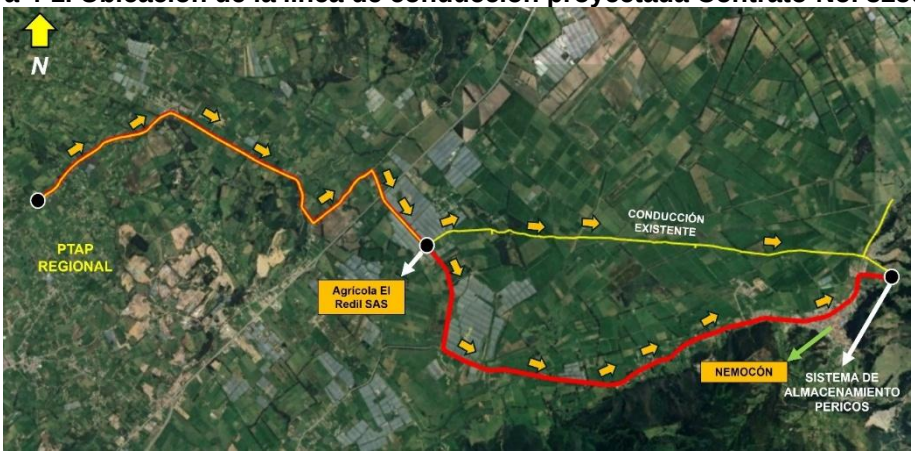
A partir de la revisión de información realizada en el marco del presente contrato, se evidenció que en el capítulo número 5 de diseño detallado del informe de diseño hidráulico de esa consultoría, se presenta la propuesta de diseño para la línea de impulsión la cual se proyectaría entre la planta de tratamiento de agua potable regional que suministra el caudal de demanda al municipio y el predio donde se encuentran ubicados los tanques de almacenamiento Perico 1 y Perico 2, el trazado proyectado tendría una longitud total de 15,066 km aproximadamente teniendo en cuenta las consideraciones descritas a continuación.

- La línea de conducción conservaría el mismo trazado existente entre la PTAP regional y la empresa Agrícola El Redil S.A.S con algunos cambios pequeños en la misma, este tramo, tiene una longitud aproximada de 6,8 km y tiene en cuenta el cambio planteado por la consultoría encargada de la actualización del PMAA del municipio de Nemocón en el año 2017.
- El tramo de la conducción que mantendría su trazado deberá renovarse a un diámetro de 12'' dada la necesidad de incrementar la capacidad de conducción de la línea por el aumento de demanda en el municipio teniendo en cuenta que la línea actual construida en 8'' y 6'' presentaría una velocidad alta para este caudal lo que se traduce en unas pérdidas de energía considerables que afectan la operación normal de la línea sin permitir que su capacidad sea el caudal del sistema de acueducto proyectado en el presente contrato. Lo anterior, basado en escenarios evaluados de la línea de conducción con los diámetros existentes.
- El cambio planteado por la consultoría encargada de la actualización del PMAA del municipio de Nemocón en el año 2017 que en su momento se planteó de 8" en PVC RDE 17 se instalará en un diámetro de 12'' por las mismas razones descritas en la consideración anteriormente mencionada.
- El cambio de trazado planteado para evitar que la línea permanezca atravesando fincas y predios privados desde la empresa Agrícola S.A.S y hasta el lote donde se encuentran ubicados los tanques Perico 1 y Perico 2 tiene una longitud estimada de

8.3 km y se propone en un diámetro de 12'' que garantiza el transporte de la demanda proyectada del municipio en unas condiciones óptimas de la conducción.

- El trazado planteado tendría 4 cruces de cuerpos hídricos que se encuentran en el recorrido de la conducción. (Quebrada La Barragana, Río Neusa, Río Acequia La Toma, Río Checua).

**Figura 4-1. Ubicación de la línea de conducción proyectada Contrato No. 3250078.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

A continuación, se presenta una descripción más detallada del trazado de la línea de impulsión proyectado.

### 4.1.1.1 TRAMO 1 - ENTRE LA PTAP REGIONAL Y LA PLAZUELA

El tramo 1 mostrado a continuación fue contemplado entre la PTAP Regional y el sector La Plazuela y tiene una longitud estimada de 2.16 km.

**Figura 4-2. Tramo 1 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados aledaña al carril norte de la vía La Plazuela – Cogua hasta la altura del conjunto Alameda La Plazuela donde el trazado se pasaría al costado del carril norte de la vía mencionada. A continuación, se muestran algunas imágenes de las zonas por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-3. Vías por intervenir – Tramo 1.**

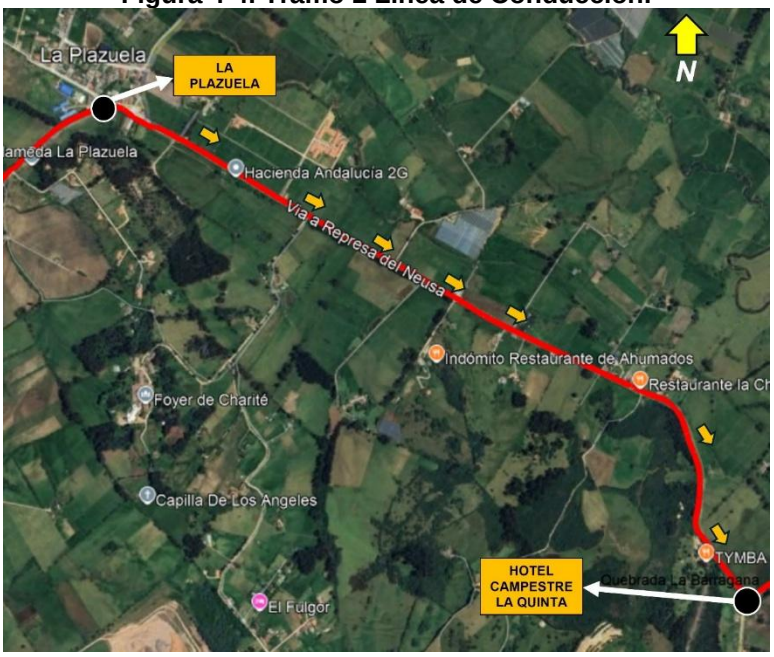



***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.1.2 TRAMO 2 - ENTRE LA PLAZUELA Y EL HOTEL CAMPESTRE LA QUINTA

El tramo 2 mostrado a continuación fue contemplado entre el sector La Plazuela y el Hotel Campestre La Quinta y tiene una longitud estimada de 2.52 km.

**Figura 4-4. Tramo 2 Línea de Conducción.**

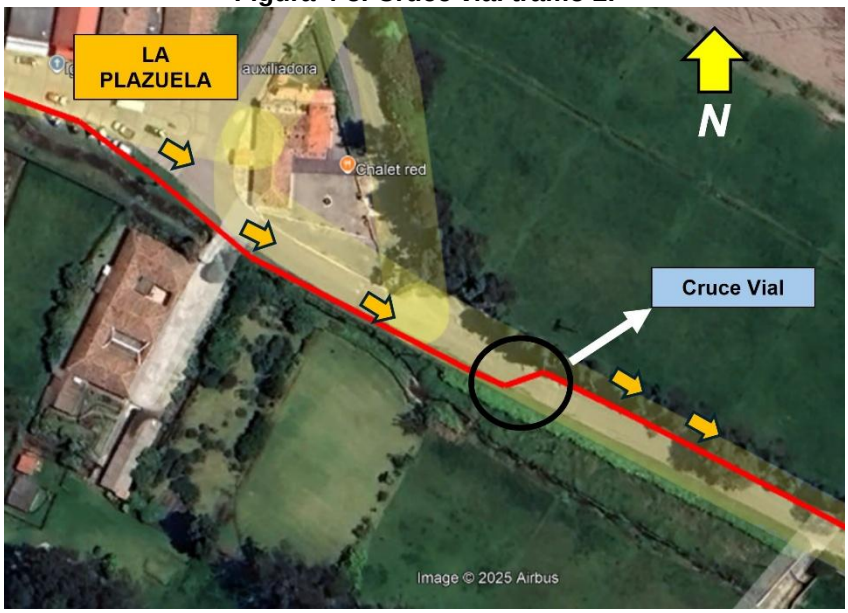



***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados, aledaña al carril occidental hasta salir del sector de La Plazuela y luego haciendo un cruce para seguir sobre el carril oriental de la vía a Represa del Neusa hasta la altura del hotel campestre La Quinta. A continuación, se muestran algunas imágenes de las zonas por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-5. Cruce vial tramo 2.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-6. Vías por intervenir – Tramo 2.**



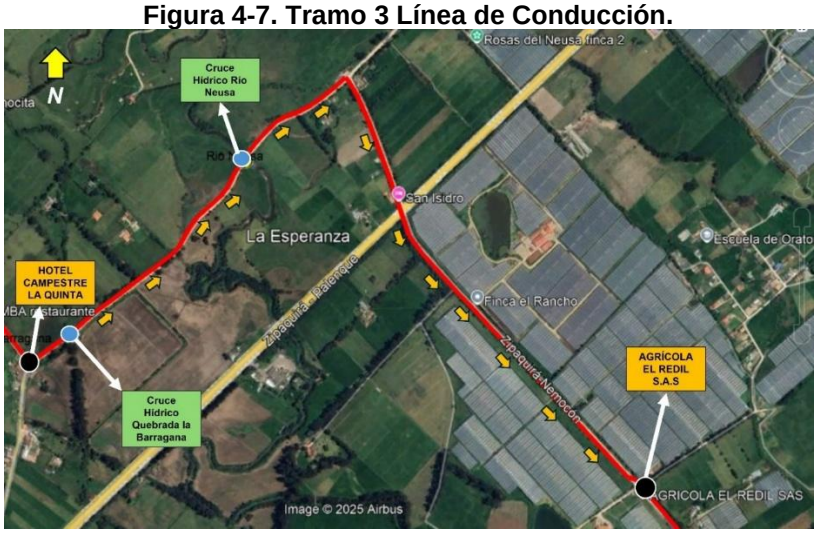
***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.1.3 TRAMO 3 - ENTRE EL HOTEL CAMPESTRE LA QUINTA Y AGRÍCOLA EL REDIL S.A.S

El tramo 3 mostrado a continuación fue contemplado entre el Hotel Campestre La Quinta y la empresa Agrícola El Redil S.A.S y tiene una longitud estimada de 2.08 km.

**Figura 4-7. Tramo 3 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente aledaña al carril norte de la vía existente en afirmado en sentido occidente oriente hasta la primera división de la vía desde el hotel en donde el trazado cambiaría de sentido de norte a sur hasta la empresa Agrícola El Redil S.A.S sobre el costado occidental de la vía en afirmado existente cruzando perpendicularmente la doble calzada Zipaquirá – Ubaté y continuando su alineamiento por el costado sur de la vía existente. A continuación, se muestran algunas imágenes de las zonas por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-8. Cruce Vial Doble Calzada Zipaquirá – Ubaté – Tramo 3.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-9. Vías por intervenir – Tramo 3.**





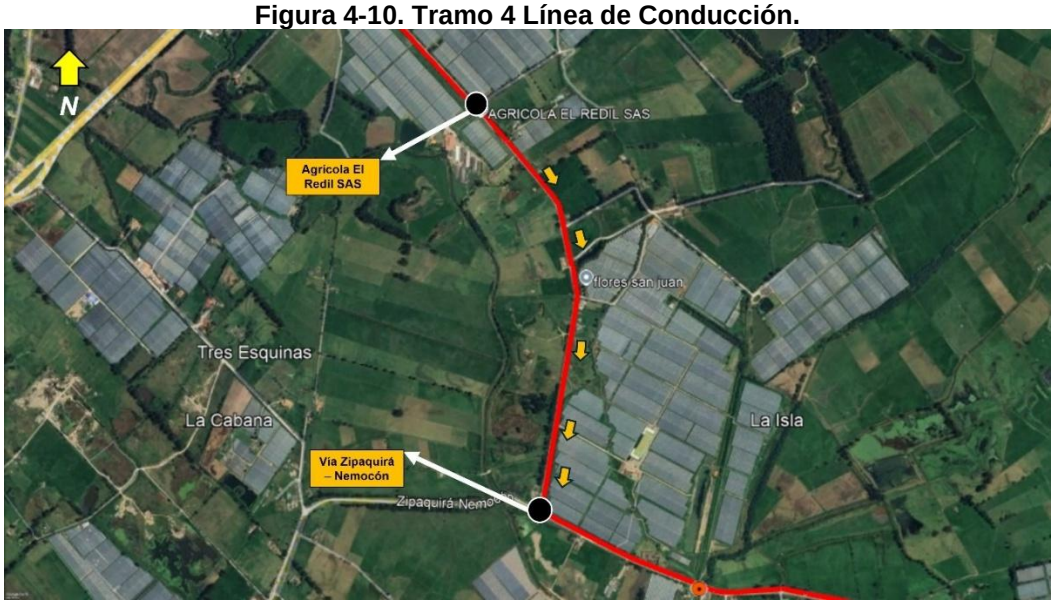

***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Google Maps.**

Para este tramo se debe hacer el cruce de 2 cuerpos hídricos correspondientes a la quebrada La Barragana y el río Neusa cuyas descripciones detalladas se presentarán en capítulos posteriores.

### 4.1.1.4 TRAMO 4 - ENTRE AGRÍCOLA EL REDIL S.A.S Y LA VÍA PRINCIPAL ZIPAQUIRÁ – NEMOCÓN

El tramo 4 mostrado a continuación fue contemplado entre la empresa Agrícola El Redil S.A.S y la incorporación a la vía principal Zipaquirá – Nemocón y tiene una longitud estimada de 1.7 km.

**Figura 4-10. Tramo 4 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados alineada al carril occidental de la vía que conecta de norte a sur las vías Zipaquirá – Palenque y Zipaquirá – Nemocón. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-11. Vías por intervenir – Tramo 4.**



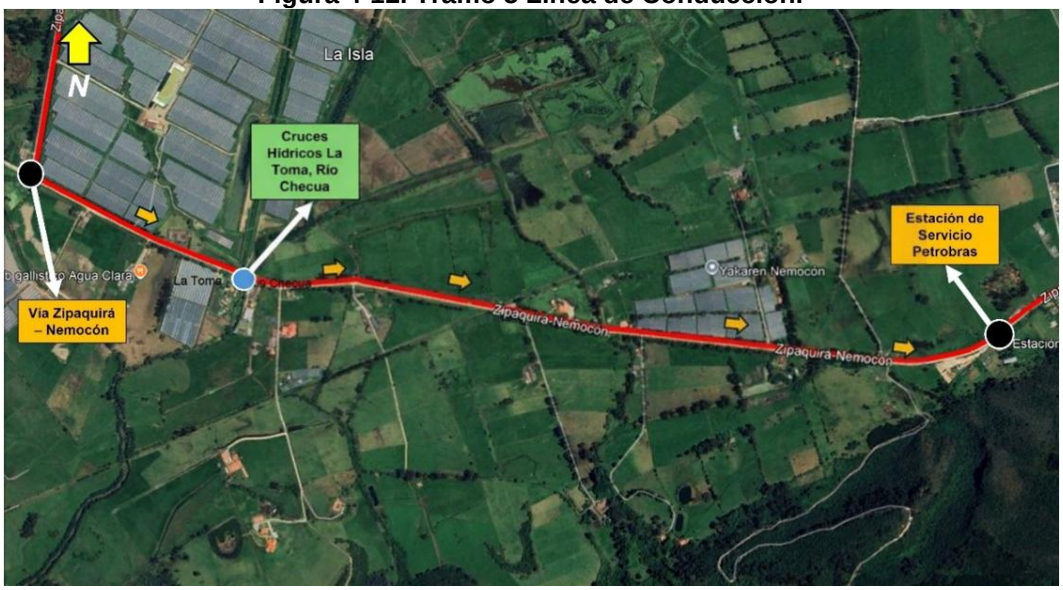
***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.1.5 TRAMO 5 - SOBRE LA VÍA ZIPAQUIRÁ NEMOCÓN HASTA LA ESTACIÓN DE SERVICIO PETROBRAS

El tramo 5 mostrado a continuación fue contemplado entre la incorporación a la vía Zipaquirá – Nemocón y la estación de servicio Petrobras ubicada más adelante, este tramo tiene una longitud estimada de 2.49 km.

**Figura 4-12. Tramo 5 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente alineada al carril norte de la vía que conecta de occidente a oriente Zipaquirá y Nemocón. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-13. Vías por intervenir – Tramo 5.**





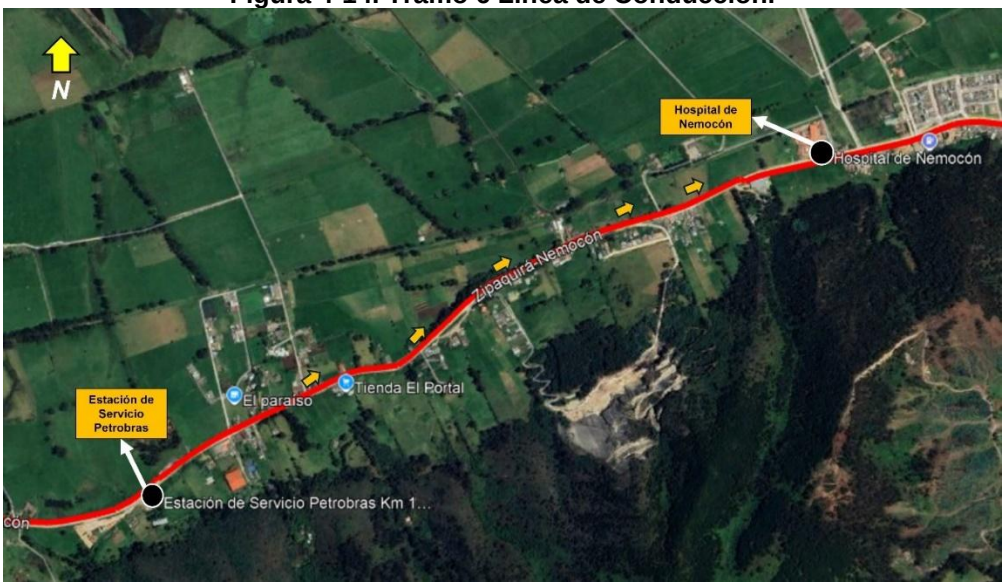
***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Google Maps.**

Para este tramo se debe hacer el cruce de 2 cuerpos hídricos correspondientes a La Toma y el río Checua cuyas descripciones detalladas se presentarán en capítulos posteriores.

#### 4.1.1.6 TRAMO 6 - ENTRE LA ESTACIÓN DE SERVICIO PETROBRAS Y EL HOSPITAL DE NEMOCÓN

El tramo 6 mostrado a continuación fue contemplado entre la estación de servicio Petrobras y el hospital de Nemocón y tiene una longitud estimada de 1.7 km.

**Figura 4-14. Tramo 6 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

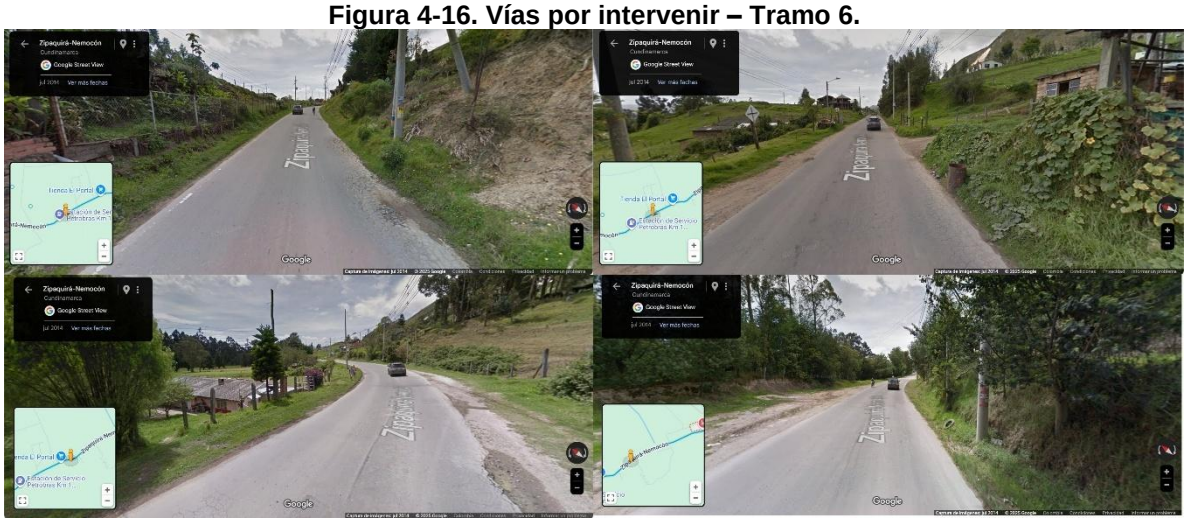
El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente alineada al carril norte de la vía que conecta de occidente a oriente Zipaquirá y Nemocón y antes de llegar al hospital se tendría un cruce de la vía para continuar su alineamiento sobre el carril sur de la vía. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-15. Cruce Vial Tramo 6.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-16. Vías por intervenir – Tramo 6.**





***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.1.7 TRAMO 7 - ENTRE EL HOSPITAL DE NEMOCÓN Y LA CARRERA 6 CON CALLE 7ª A

El tramo 7 mostrado a continuación fue contemplado entre el hospital de Nemocón y la carrera 6 con calle 7ª A y tiene una longitud estimada de 1.58 km.

**Figura 4-17. Tramo 7 Línea de Conducción.**



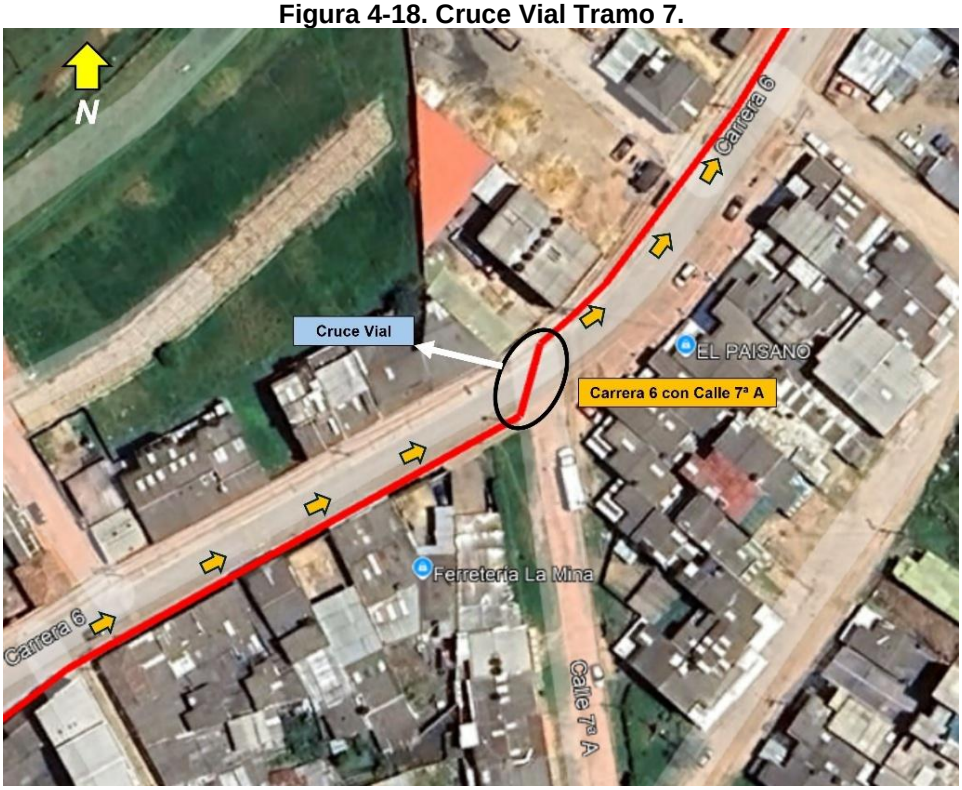

***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente alineada a los andenes aledaños al carril sur de la vía que conecta de occidente a oriente Zipaquirá y Nemocón y que luego se convierte en la carrera 6 que atraviesa todo el municipio cambiando el alineamiento de carril al final del tramo sobre la carrera 6 con calle 7ª A donde

vuelve a pasar sobre el carril norte, esto con el objeto de no generar interferencia con la red de acueducto existente en el andén del costado sur. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

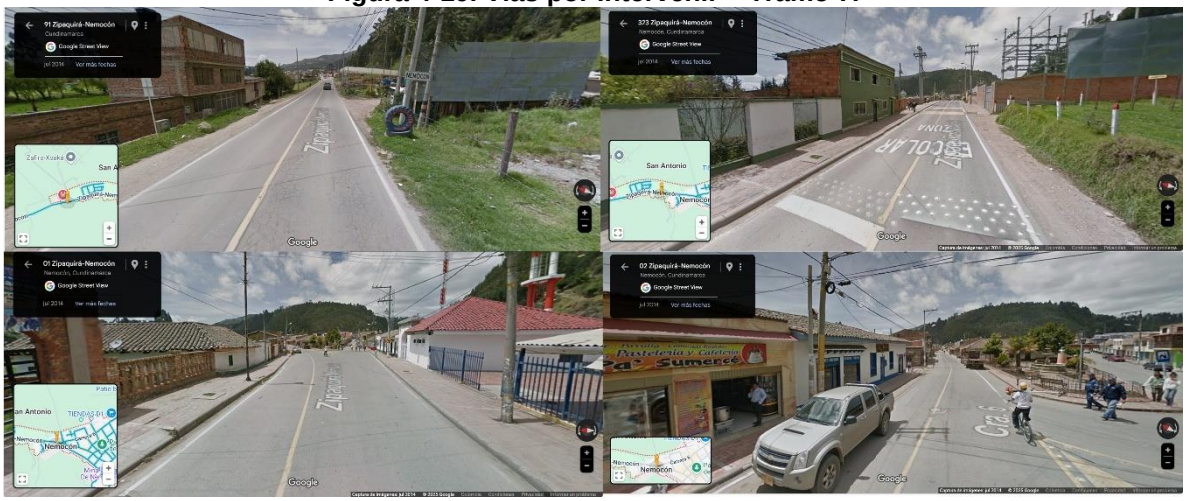
**Figura 4-18. Cruce Vial Tramo 7.**




**Fuente: *Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-19. Vías por intervenir – Tramo 7.**






***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.1.8 TRAMO 8 - ENTRE LA CARRERA 6 CON CALLE 7ª A Y LA BIBLIOTECA EL FUTURO

El tramo 8 mostrado a continuación fue contemplado entre la carrera 6 con calle 7ª A y la biblioteca El Futuro del municipio y tiene una longitud estimada de 0.35 km.

**Figura 4-20. Tramo 8 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente alineada al carril occidental de la vía en el municipio. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-21. Vías por intervenir – Tramo 8.**



***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

### 4.1.1.9 TRAMO 9 - ENTRE LA BIBLIOTECA EL FUTURO Y EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PERICO

El tramo 9 mostrado a continuación fue contemplado entre la biblioteca El Futuro del municipio y el sistema de almacenamiento Perico y tiene una longitud estimada de 0.48 km.

**Figura 4-22. Tramo 9 Línea de Conducción.**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

El tramo contempla la instalación de la tubería entre los puntos mostrados anteriormente alineada a la vía en afirmado que comunica el municipio con la vereda El Perico Juanito. A continuación, se muestran algunas imágenes de la vía por donde se proyecta el tramo.

**Figura 4-23. Vías por intervenir – Tramo 9.**



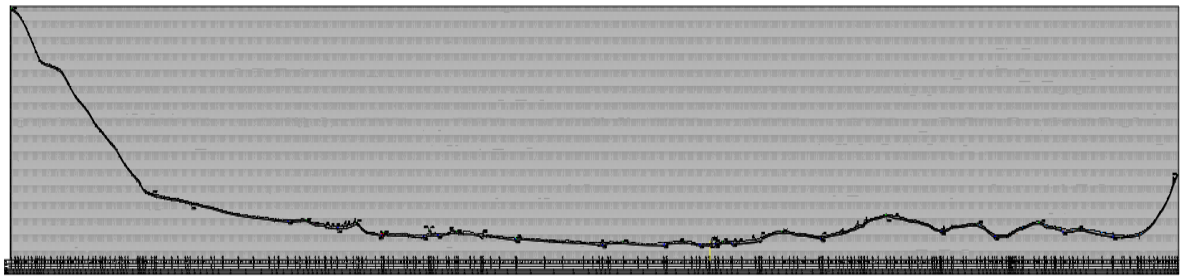

***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

## 4.1.1.10 TRAZADO EN PERFIL

En cuanto al perfil de la línea se asignaron las elevaciones correspondientes a la cota clave de la tubería a lo largo del trazado como se muestra en el perfil de elevaciones de la conducción presentado a continuación. El perfil inicia en la PTAP Regional que abastece la demanda del municipio en la cota 2733.55 m y finaliza en el sistema de tanques de almacenamiento Perico en la cota 2612.57 m presentando la línea de conducción una diferencia de elevación entre su punto inicial y final de 120.98 m.

**Figura 4-24. Perfil de elevaciones de la línea de impulsión.**



***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

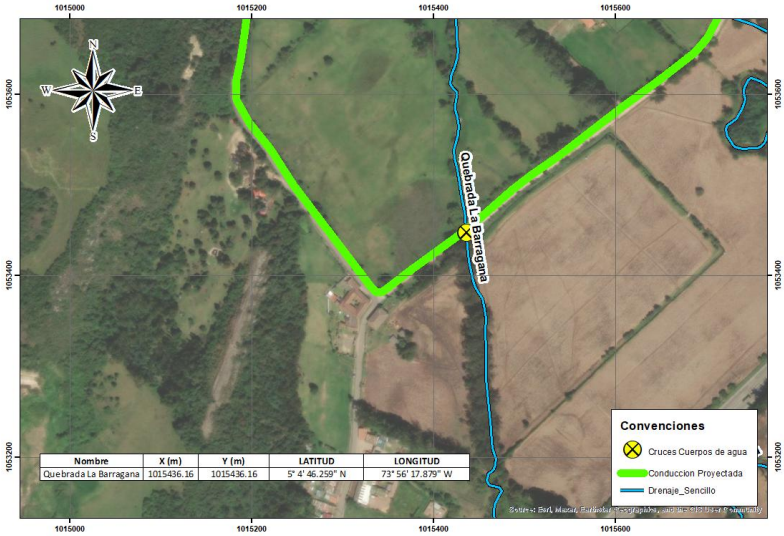
## 4.1.2 CRUCES DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN A CUERPOS DE AGUA

### 4.1.2.1.1 Quebrada la Barragana

La conducción proyectada en tubería de 12 pulgadas de diámetro contempla el cruce de la quebrada La Barragana mediante la técnica de perforación horizontal dirigida, con una longitud de 22,91 metros, utilizando tubería de polietileno de alta densidad (PEAD). Este cruce se realiza conforme a los diseños planteados por la "LA ACTUALIZACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO ZONA URBANA DE NEMOCÓN, CUNDINAMARCA"

La perforación dirigida se emplea principalmente para la construcción de cruces subfluviales o pasos especiales. Este método consiste en ejecutar inicialmente una perforación piloto, cuya cabeza emisora transmite señales que son monitoreadas desde la superficie, permitiendo ajustar la inclinación, posición y profundidad conforme al diseño previamente establecido. Posteriormente, se efectúan las expansiones necesarias para alcanzar el diámetro requerido por la tubería a instalar.

**Figura 4-25. Cruce Quebrada La Barragana**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**
***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-26. Quebrada la Barragana**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.2.1.2 Río Neusa

La conducción proyectada en tubería de 12 pulgadas de diámetro contempla el cruce del río Neusa mediante un paso elevado en cercha metálica de 20 metros, diseñado para garantizar la protección de la infraestructura frente a la socavación y los altos caudales del afluente.

**Figura 4-27. Cruce Río Neusa**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-28. Río Neusa**



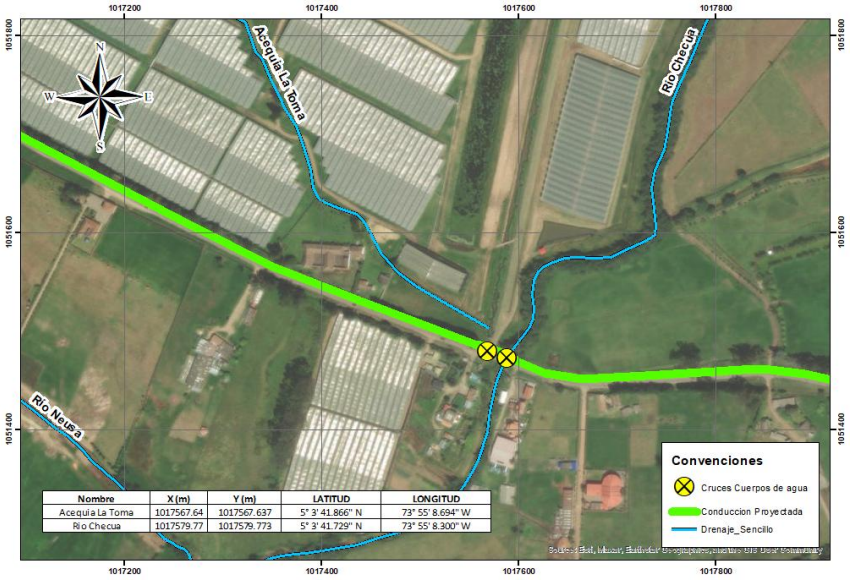

***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

### 4.1.2.1.3 Acequia La Toma y Río Checua

La conducción proyectada en tubería de 12 pulgadas de diámetro contempla el cruce de los cauces Acequia La Toma y Río Checua mediante la técnica de perforación horizontal dirigida, con una longitud de 71 metros, utilizando una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD), diseñado para garantizar la protección de la infraestructura frente a la socavación y los altos caudales del afluente.

**Figura 4-29. Acequia La Toma y Río Checua**




| Nombre | X (m) | Y (m) | LATITUD | LONGITUD |
|---|---|---|---|---|
| Acequia La Toma | 1017567.64 | 1017567.637 | 5° 3' 41.866" N | 73° 55' 8.694" W |
| Rio Checua | 1017579.77 | 1017579.773 | 5° 3' 41.729" N | 73° 55' 8.300" W |

***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Contrato No. 3250078.**

**Figura 4-30. Acequia La Toma**




**Figura 4-31. Río Checua**




***Elaboró: Contrato No. 3250078.**

***Fuente: Google Maps.**

## 4.1.3 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

El estudio se lleva a cabo con información recopilada por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Como primera medida se procede a identificar las estaciones activas en la zona de proyecto, esto con el objeto de identificar las estaciones medidoras de precipitación que tiene influencia sobre las cuencas hidrográficas. Por lo tanto, de acuerdo a la localización y el área de influencia del proyecto se ubican las siguientes estaciones climatológicas y pluviométricas.

**Tabla 1. Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Región.**

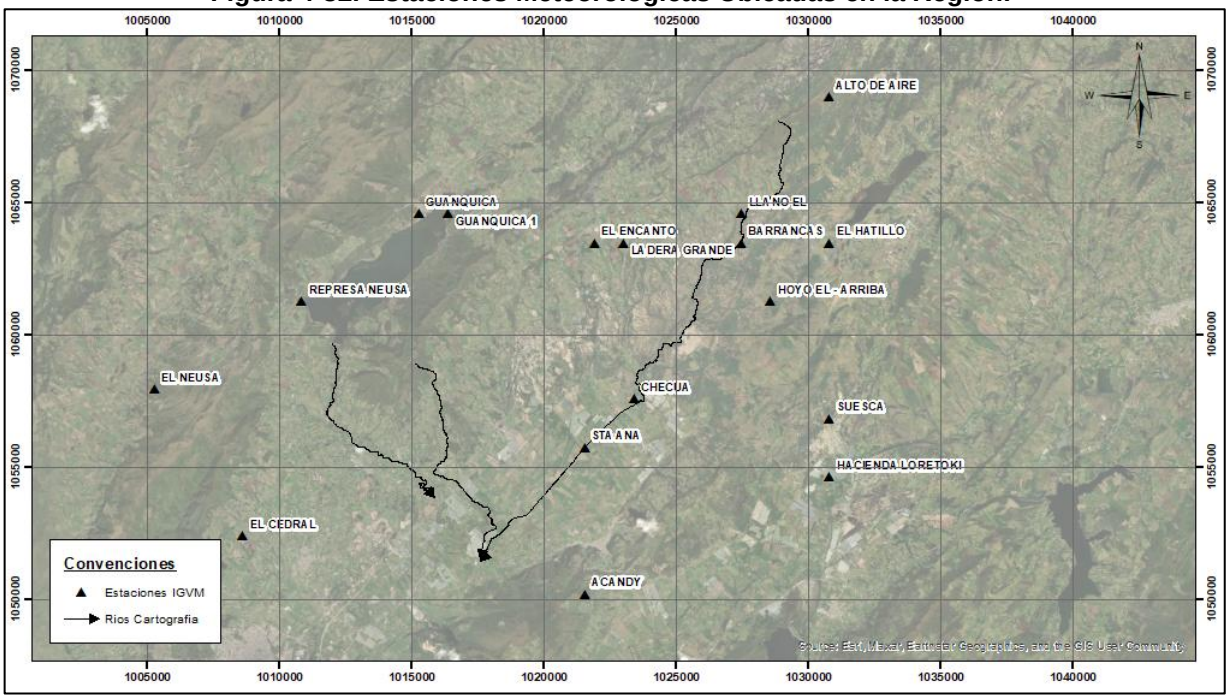
| Nombre Estación | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Entidad |
|---|---|---|---|---|---|
| STA ANA | COGUA | Cundinamarca | -73.883 | 5.1 | IDEAM |
| CHECUA | COGUA | Cundinamarca | -73.866 | 5.116667 | IDEAM |
| ACANDY | COGUA | Cundinamarca | -73.883 | 5.05 | IDEAM |
| REPRESA NEUSA | COGUA | Cundinamarca | -73.98 | 5.15 | IDEAM |
| EL CEDRAL | COGUA | Cundinamarca | -74 | 5.07 | IDEAM |
| ALTO DE AIRE | CUCUNUBA | Cundinamarca | -73.8 | 5.22 | IDEAM |
| HOYO EL - ARRIBA | SUESCA | Cundinamarca | -73.82 | 5.15 | IDEAM |
| EL HATILLO | SUESCA | Cundinamarca | -73.8 | 5.17 | IDEAM |
| BARRANCAS | SUESCA | Cundinamarca | -73.83 | 5.17 | IDEAM |
| LLANO EL | SUESCA | Cundinamarca | -73.83 | 5.18 | IDEAM |
| SUESCA | SUESCA | Cundinamarca | -73.8 | 5.11 | IDEAM |
| HACIENDA LORETOKI | SUESCA | Cundinamarca | -73.8 | 5.09 | IDEAM |

| Nombre Estación | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Entidad |
|---|---|---|---|---|---|
| GUANQUICA 1 | TAUSA | Cundinamarca | -73.93 | 5.18 | IDEAM |
| EL ENCANTO | TAUSA | Cundinamarca | -73.88 | 5.17 | IDEAM |
| LADERA GRANDE | TAUSA | Cundinamarca | -73.87 | 5.17 | IDEAM |
| GUANQUICA | TAUSA | Cundinamarca | -73.94 | 5.18 | IDEAM |
| EL NEUSA | ZIPAQUIRA | Cundinamarca | -74.03 | 5.12 | IDEAM |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM.**

A continuación, se presenta un plano general de la ubicación de las estaciones consultadas.

**Figura 4-32. Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Región.**

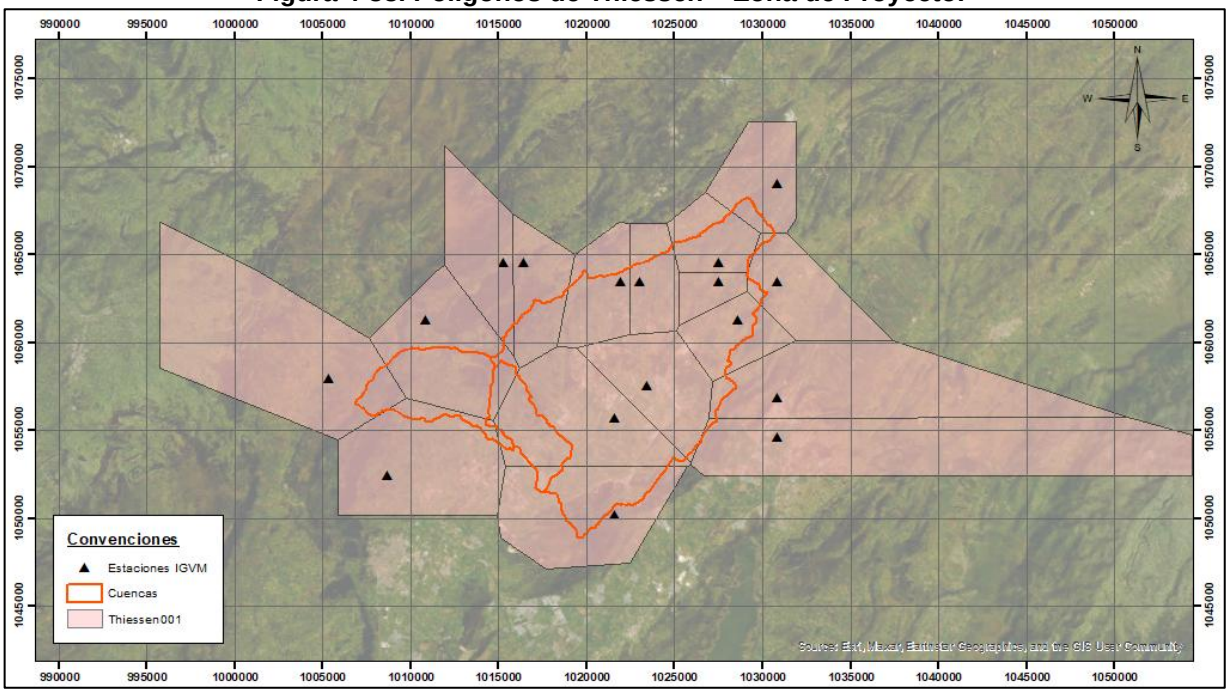



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Ya identificadas las estaciones activas en el área de estudio, se procede a identificar la estación o estaciones que inciden en el área de la cuenca hidrográfica, en el numeral *6.2 CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL PROYECTO* se encuentra una descripción más detallada de la cuenca hidrográfica.

De acuerdo a lo anterior, se realiza el trazado de Polígonos de Thiessen de acuerdo a metodología descrita por Monsalve Sáenz, 1995. El trazado de los polígonos de Thiessen se muestra en la siguiente ilustración.

**Figura 4-33. Polígonos de Thiessen – Zona de Proyecto.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia**

De acuerdo con el trazado obtenido para las cuencas hidrográficas, se identifica que la zona de proyecto se encuentra influenciada por 17 estaciones diferentes que contienen datos pluviométricos medidos.

## 4.1.4 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

secundaria obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, necesaria para realizar diferentes procesos dentro del estudio. La información se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Hojas cartográficas utilizadas.**

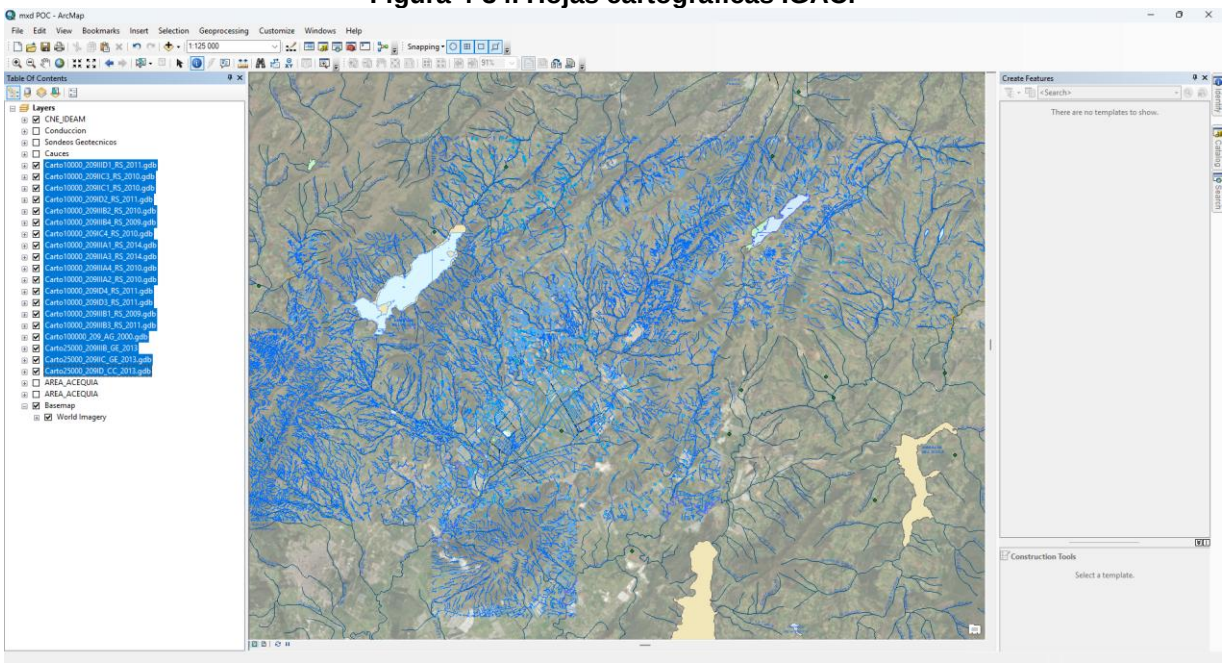
| Hojas Cartográficas | |
|---|---|
| Datos Vectoriales | |
| Hoja | Escala |
| Carto10000_209IIID1_RS_2011.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIC3_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIC1_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209ID2_RS_2011.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIB2_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIB4_RS_2009.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IC4_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIA1_RS_2014.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIA3_RS_2014.gdb | 1:10000 |

| Hojas Cartográficas | |
|---|---|
| **Datos Vectoriales** | |
| **Hoja** | **Escala** |
| Carto10000_209IIIA4_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIA2_RS_2010.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209ID4_RS_2011.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209ID3_RS_2011.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIB1_RS_2009.gdb | 1:10000 |
| Carto10000_209IIIB3_RS_2011.gdb | 1:10000 |
| Carto25000_209IIIB_GE_2013 | 1:10000 |
| Carto25000_209IIC_GE_2013.gdb | 1:25000 |
| Carto25000_209ID_CC_2013.gdb | 1:25000 |
| Carto100000_209_AG_2000.gdb | 1:100000 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

A continuación, se presenta una imagen en la que es posible observar el software de información geográfica con las hojas cartográficas cargadas con el dataset correspondiente a las superficies de agua

**Figura 4-34. Hojas cartográficas IGAC.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

# 5. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

Con el fin de poder realizar una estimación del comportamiento climatológico en la zona de estudio y de estimar las precipitaciones presentes en la zona de estudio, se empleó la información recopilada de todas las estaciones. A continuación, en el informe se presenta la precipitación de la estación CHECUA-NEMOCON [21205400] a manera de ejemplo. La información completa se encuentra en el anexo 2.2.1 “Estación Pluviométrica” del presente informe.

## 5.1.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL Y TOTAL MULTIANUAL

Como primera medida, el parámetro de precipitación a nivel mensual y nivel multianual se basa en el registro de datos precipitación recopilados a través de IDEAM.

**Tabla 3. Precipitación Media Mensual y Anual Multianual.**

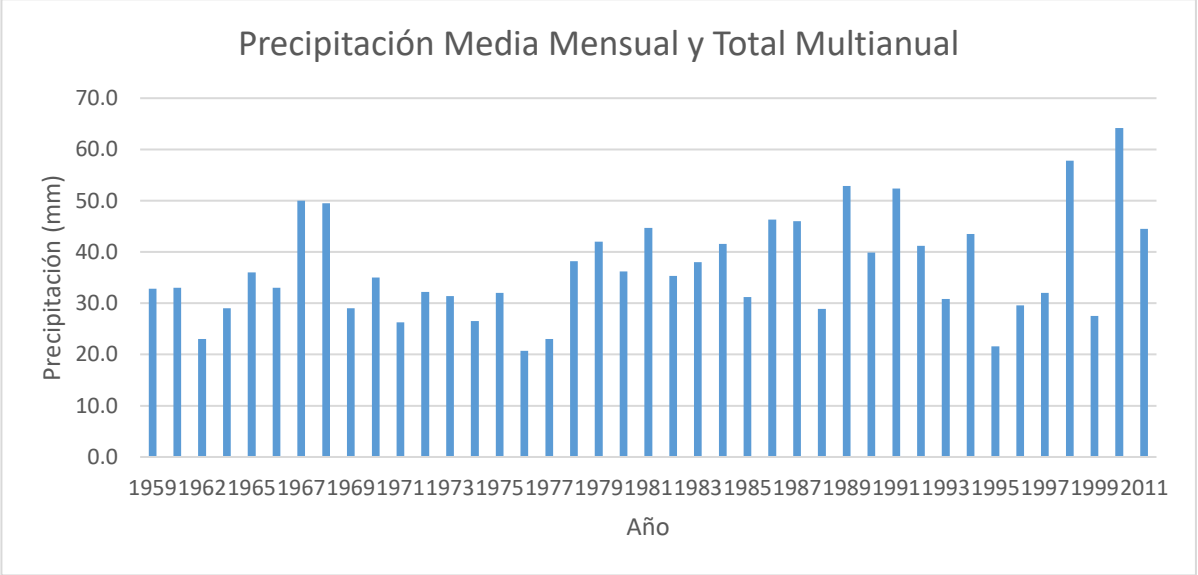
| ESTACIÓN CHECUA-NEMOCON [21205400] | |
|---|---|
| **AÑO** | **Precipitación Máxima (mm)** |
| 1959 | 32.8 |
| 1961 | 33.0 |
| 1962 | 23.0 |
| 1963 | 29.0 |
| 1965 | 36.0 |
| 1966 | 33.0 |
| 1967 | 50.0 |
| 1968 | 49.5 |
| 1969 | 29.0 |
| 1970 | 35.0 |
| 1971 | 26.3 |
| 1972 | 32.2 |
| 1973 | 31.4 |
| 1974 | 26.5 |
| 1975 | 32.0 |
| 1976 | 20.7 |
| 1977 | 23.0 |
| 1978 | 38.2 |
| 1979 | 42.0 |
| 1980 | 36.2 |
| 1981 | 44.7 |
| 1982 | 35.3 |
| 1983 | 38.0 |
| 1984 | 41.6 |
| 1985 | 31.2 |
| 1986 | 46.3 |
| 1987 | 46.0 |
| 1988 | 28.9 |

| ESTACIÓN CHECUA-NEMOCON [21205400] | |
|---|---|
| **AÑO** | **Precipitación Máxima (mm)** |
| 1989 | 52.9 |
| 1990 | 39.9 |
| 1991 | 52.4 |
| 1992 | 41.2 |
| 1993 | 30.8 |
| 1994 | 43.5 |
| 1995 | 21.6 |
| 1996 | 29.6 |
| 1997 | 32.0 |
| 1998 | 57.8 |
| 1999 | 27.5 |
| 2010 | 64.2 |
| 2011 | 44.5 |
| **Número de Datos** | 41 |
| **Media** | 36.80 |
| **Desviación Típica** | 10.10 |
| **Coeficiente de Asimetría** | 0.68 |
| Nota: los valores con (*) no fueron tenidos en cuenta por pertenecer a años incompletos y ser muy bajos. | |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Como segundo paso, se procedió a graficar el histograma de precipitación máxima diaria a nivel multianual. A continuación, se presenta el histograma de precipitación máxima diaria a nivel multianual de la estación pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400].

**Figura 5-1. Precipitación máxima diaria Estación CHECUA-NEMOCON [21205400].**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

De acuerdo con lo anterior, tenemos que en la estación pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400], la precipitación anual a nivel multianual tiene como media un valor de 36.80 mm, presentando como mínimo de 20.7 mm en el año de 1976 y máximo de 64.2 mm en el año 2010.

### 5.1.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Para este análisis se emplean los datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones medidoras de precipitación en estudio; los valores de la precipitación máxima en 24 horas se obtuvieron de los registros de precipitación diaria y los valores de máximos anuales registrados.

Los registros de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400] se presentan en la siguiente tabla.

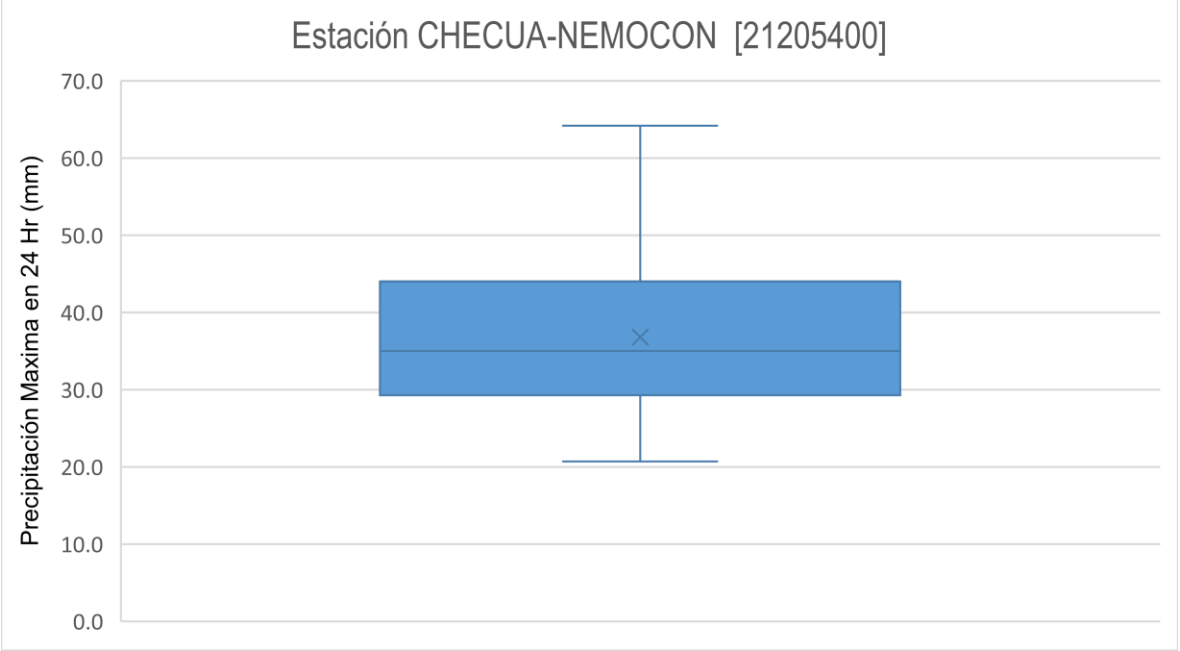
**Tabla 4. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual Multianual. Estación CHECUA-NEMOCON [21205400].**

| ESTACIÓN CHECUA-NEMOCON [21205400] | |
|---|---|
| **AÑO** | **Precipitación Máxima (mm)** |
| 1971 | 130.0 |
| 1972 | 45.5 |
| 1973 | 183.0 |
| 1974 | 56.0 |
| 1975 | 58.8 |
| 1976 | 28.0 |
| 1977 | 31.5 |
| 1978 | 31.8 |
| 1979 | 67.0 |
| 1980 | 17.8 |
| 1981 | 12.8 |
| 1982 | 11.2 |
| 1983 | 23.4 |
| 1984 | 87.0 |
| 1985 | 30.1 |
| 1986 | 40.3 |
| 1987 | 73.2 |
| 1988 | 33.2 |
| 1989 | 36.2 |
| 1990 | 42.4 |
| 1991 | 63.0 |
| 1992 | 68.2 |
| 1993 | 57.4 |

| ESTACIÓN CHECUA-NEMOCON [21205400] | |
|---|---|
| **AÑO** | **Precipitación Máxima (mm)** |
| 1994 | 56.4 |
| 1995 | 65.0 |
| 1996 | 31.1 |
| 1997 | 47.5 |
| 1998 | 31.0 |
| 1999 | 28.3 |
| 2000 | 30.1 |
| 2001 | 70.3 |
| 2002 | 53.9 |
| 2003 | 38.0 |
| 2004 | 38.5 |
| 2005 | 98.0 |
| 2006 | 55.8 |
| 2007 | 48.0 |
| 2008 | 28.7 |
| 2009 | 46.0 |
| 2010 | 64.0 |
| 2011 | 90.0 |
| 2012 | 41.0 |
| 2014 | 61.7 |
| 2015 | 69.5 |
| 2016 | 56.0 |
| 2017 | 72.8 |
| 2018 | 45.6 |
| 2019 | 60.2 |
| **Número de Datos** | 48 |
| **Media** | 53.23 |
| **Desviación Típica** | 29.80 |
| **Coeficiente de Asimetría** | 2.10 |
| Nota: los valores con (*) no fueron tenidos en cuenta por pertenecer a años incompletos y ser muy bajos. | |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 5-2. Caja y Bigotes (Box Plot) Datos de Precipitación Máxima en 24 Horas. Estación Pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400]**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

# 6. ESTUDIO HIDROLÓGICO

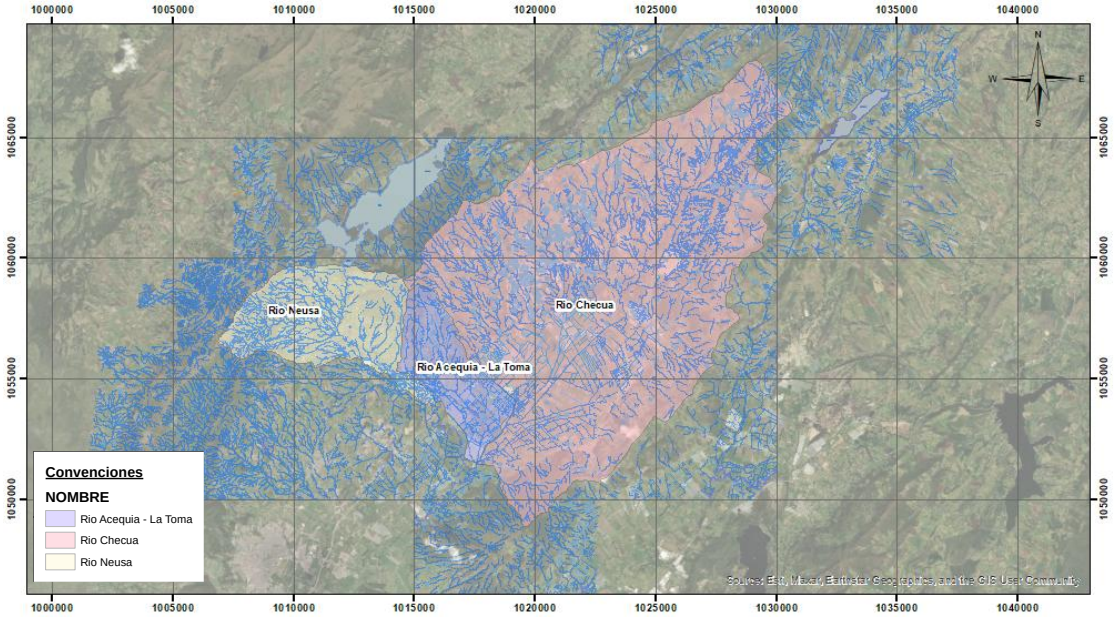
## 6.1 INTRODUCCIÓN

Con el objeto de determinar la escorrentía superficial que fluye hacia la zona de estudio, se realiza un análisis de caudales con base a los registros históricos de las estaciones pluviométricas presentadas, como fue mencionado anteriormente.

## 6.2 CARACTERÍSTICAS OROGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL PROYECTO.

Como se mencionó en la introducción del documento, se proyecta la construcción de una tubería de conducción de agua potable, que cruza los cauces: Río Neusa (Latitud 5°5’0.043”N, Longitud 73°56’4.11”W), Acequia La Toma (Latitud 5°3’41.86”N, Longitud 73°55’8.694”W) y Río Checua (Latitud 5°3’41.729”N, Longitud 73°55’8.3”W) con la finalidad de transportar el caudal correspondiente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el sistema de almacenamiento Perico. A continuación, se presenta la hidrografía de los tres ríos objeto del contrato.

**Figura 6-1. Cuencas Hidrográficas de la zona de estudio.**

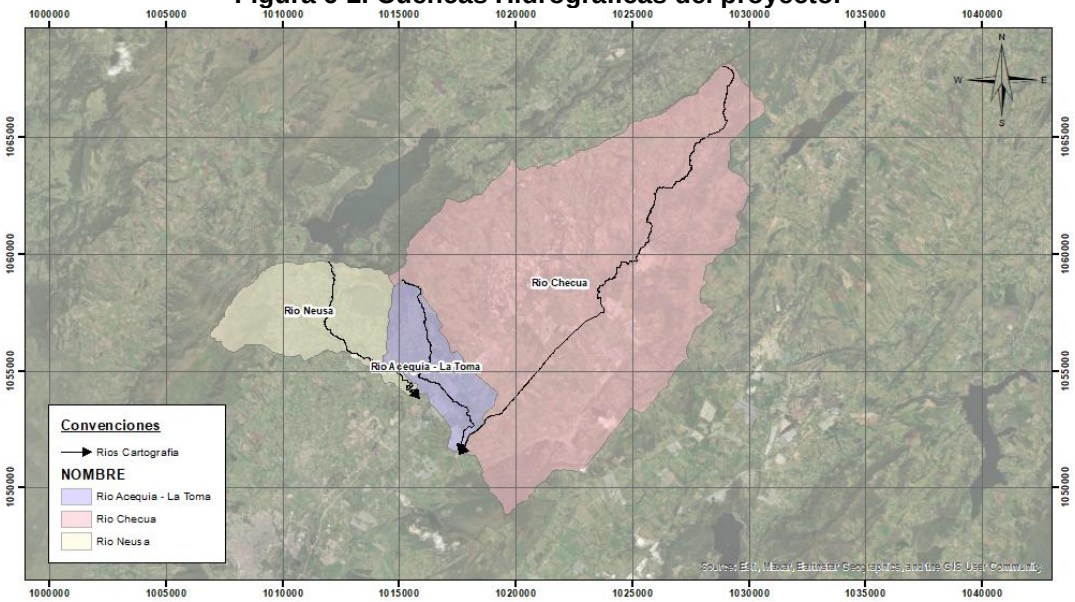



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Con base en la información proporcionada por el IGAC para la zona de proyecto se trazaron las cuencas hidrográficas aferentes a los cauces, *Figura* 6-2. Con lo anterior, se definen las características geométricas y morfométricas de las cuencas. Se define la pendiente del cauce mediante el cálculo de la pendiente ponderada, Tabla 5.

**Figura 6-2. Cuencas Hidrográficas del proyecto.**



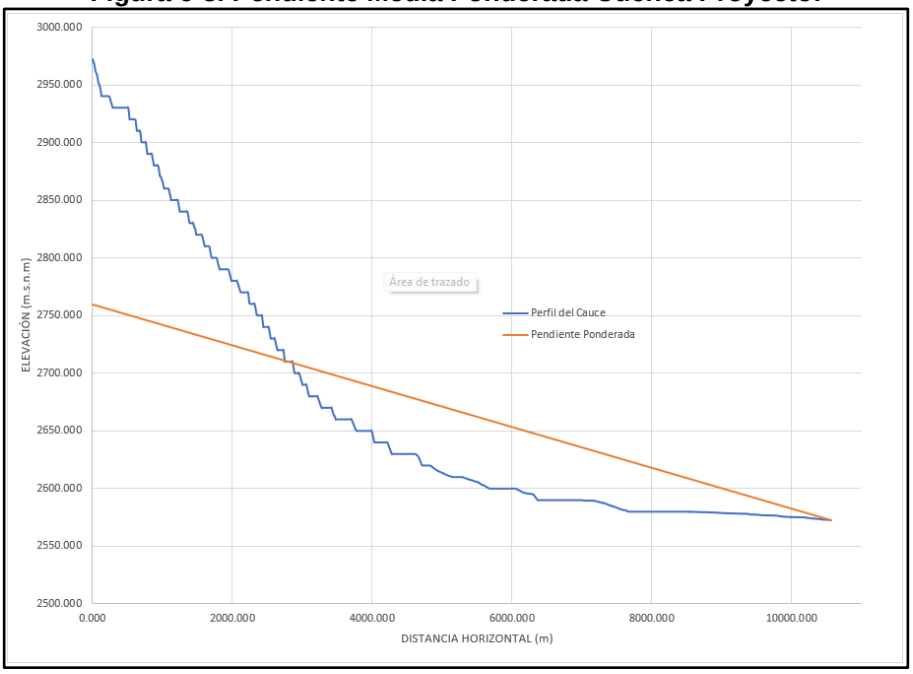

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Tabla 5. Características morfométricas de las cuencas hidrográficas**

| NOMBRE | ÁREA CUENCA ($km^2$) | PERÍMETRO CUENCA (km) | LONGITUD DEL CAUCE (km) | LONGITUD AXIAL DE LA CUENCA (km) | ANCHO MEDIO DE LA CUENCA (km) | PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (m/m) | DESNIVEL ALTITUDINAL (m) | PENDIENTE PONDERADA DEL CAUCE (m/m) | ÍNDICE DE GRAVELIUS O COEFICIENTE COMPACIDAD (Kc) | FACTOR DE FORMA (Kf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | 26.928 | 27.140 | 10.563 | 6.994 | 3.850 | 0.03781 | 399.39 | 0.0177 | 1.46 | 0.55 |
| Cuenca Río Checua | 152.113 | 62.729 | 24.845 | 20.005 | 7.604 | 0.025760 | 640.00 | 0.0091 | 1.42 | 0.38 |
| Cuenca Río Acequia - La Toma | 15.593 | 20.279 | 10.727 | 7.810 | 1.997 | 0.06060 | 650.00 | 0.0205 | 1.44 | 0.26 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 6-3. Pendiente Media Ponderada Cuenca Proyecto.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Los cálculos de la pendiente ponderada del cauce se presentan en el anexo “2.2.7 Cálculo Morfometría Cuenca” para todas las cuencas objeto de estudio.

- ✓ **Índice de Gravelius**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca (longitud de la divisoria de aguas) y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca, y se expresa según la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}}$$

Donde,

$K_c$: Índice de Grevelius o Coeficiente de Compacidad

$P$: Perímetro de la cuenca, m.

$A$: Área de drenaje de la cuenca, km².

De acuerdo a (Ortiz Vera, 2004) las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos pico muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico más atenuados y recesiones más prolongadas, las formas de la cuenca, en concordancia con los valores que adopte los índices de compacidad se definen en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Formas de la Cuenca de acuerdo al Índice de Gravelius**

| Clase de Forma | Índice de Compacidad | Forma de la Cuenca |
|---|---|---|
| Clase 1 | 1.0 a 1.25 | Casi redonda a oval - redonda |
| Clase 2 | 1.26 a 1.50 | Oval - redonda a oval - oblonga |
| Clase 3 | 1.51 a 1.75 | Oval - oblonga a rectangular - oblonga |
| Clase 4 | >1.75 | Rectangular - Oblonga |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: (Ortiz Vera, 2004).**

- ✓ **Factor de Forma**

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud axial de la misma. Este se define de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{K_f = \frac{A}{L^2}}$$

Donde,

$K_f$: Factor de Forma

$L$: Longitud axial de la cuenca, m.

$A$: Área de drenaje de la cuenca, km².

Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca, en concordancia de acuerdo a (Ortiz Vera, 2004) se tienen valores aproximados presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Factor de Forma Aproximados**

| Valores Aproximados | Forma de la Cuenca |
|---|---|
| <0.22 | Alargada |
| 0.22 - 0.30 | Ligeramente alargada |
| 0.30 - 0.45 | Ni alargada, ni achatada |
| 0.45 - 0.60 | Ligeramente achatada |
| 0.60 - 0.80 | Achatada |
| 0.80 - 1.20 | Muy achatada |
| >1.20 | Rodeando el desagüe |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: (Ortiz Vera, 2004).**

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5, el índice de Gravelius obtenido es igual a 1.46. 1.42 y 1.44, es decir, las cuencas son de forma casi redonda a oval – redonda (Clase 2).

Adicionalmente, el factor de forma de la cuenca es de 0.55 0.38 y 0.26, lo que indica que la cuenca del R. Neusa es ligeramente achatada, la cuenca del R. Checua no es ni alargada ni achatada y la cuenca del R. Acequia es ligeramente alargada.

## 6.4 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

De acuerdo con (Vargas M & Díaz-Granados, 1998) y a falta de datos históricos de lluvias para pluviógrafos en el área de proyecto, se calcularon las curvas intensidad - duración - frecuencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c}$$

Donde, $I$: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora [mm/h]

$T$: Periodo de retorno en años

$M$: Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel mundial [mm]

$t$: Duración de la lluvia en minutos [min]

$a, b, c, d$: Parámetros de ajuste de la regresión.

El área del proyecto se encuentra ubicada en la Región 1 definida por Vargas – Diaz & Granados, cuyos parámetros $a = 0.94$ , $b = 0.18$, $c = 0.66$ $y$ $d = 0.83$.

Con lo anterior,

$$I = \frac{0.94 * T^{0.18} * M^{0.83}}{(t/60)^{0.66}}$$

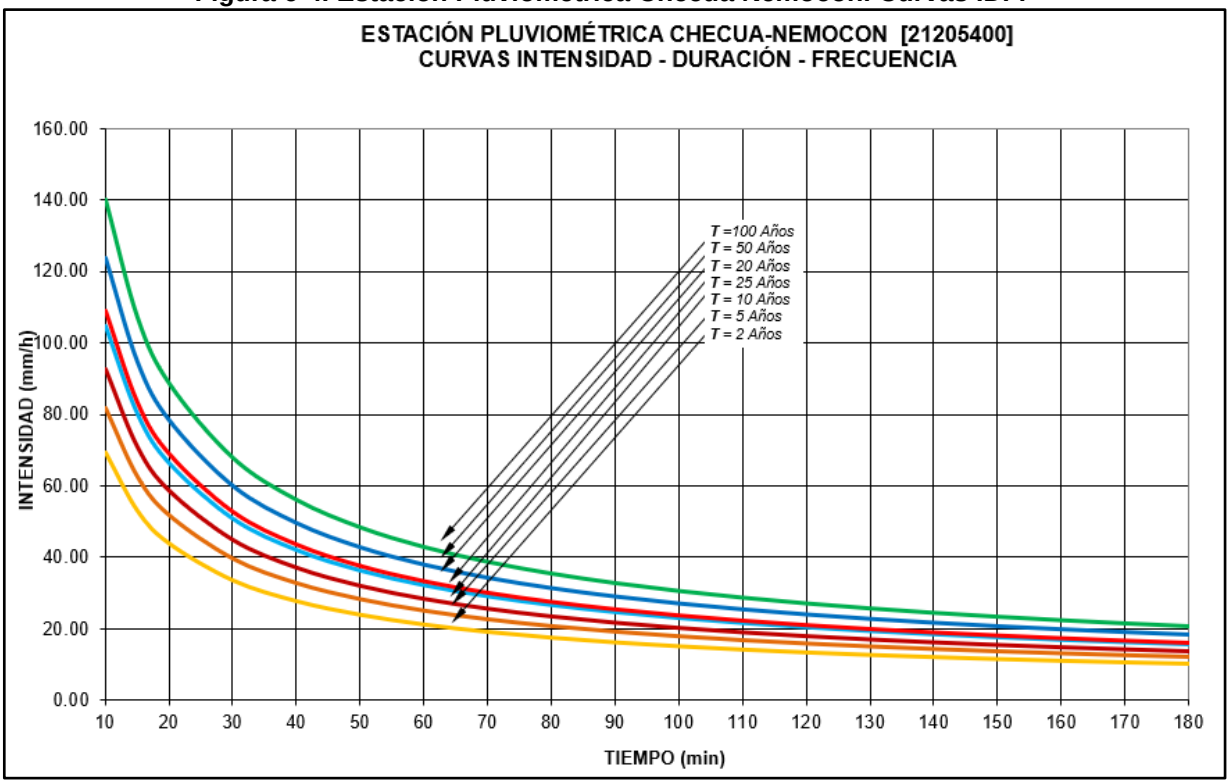
Adicionalmente, con el registro de datos históricos de precipitación máxima en 24 horas a nivel promedio anual multianual de las estaciones pluviométricas, se calcula el promedio de precipitación máxima multianual en 24 horas para cada una de las estaciones pluviométricas obteniendo los diferentes valores. Con estos valores se han calculado las curvas intensidad – duración – frecuencia para cada una de las estaciones mencionadas, las cuales se presentan en la Tabla 8 y en Figura 6-4. A continuación, se presentan los resultados para la estación

**Tabla 8. Estación Pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400] Curvas IDF. Valores [mm/h].**

| TIEMPO (min) | PERÍODO DE RETORNO (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 10 | 69.27 | 81.69 | 92.54 | 104.84 | 109.14 | 123.64 | 140.07 |
| 15 | 53.00 | 62.51 | 70.81 | 80.22 | 83.51 | 94.61 | 107.18 |
| 20 | 43.84 | 51.70 | 58.57 | 66.35 | 69.07 | 78.25 | 88.65 |
| 30 | 33.54 | 39.56 | 44.82 | 50.77 | 52.85 | 59.88 | 67.83 |
| 40 | 27.74 | 32.72 | 37.07 | 41.99 | 43.71 | 49.52 | 56.10 |
| 50 | 23.94 | 28.24 | 31.99 | 36.24 | 37.73 | 42.74 | 48.42 |
| 60 | 21.23 | 25.04 | 28.36 | 32.13 | 33.45 | 37.89 | 42.93 |
| 70 | 19.18 | 22.61 | 25.62 | 29.02 | 30.21 | 34.23 | 38.78 |
| 80 | 17.56 | 20.71 | 23.46 | 26.58 | 27.66 | 31.34 | 35.51 |
| 90 | 16.25 | 19.16 | 21.70 | 24.59 | 25.60 | 29.00 | 32.85 |
| 100 | 15.15 | 17.87 | 20.25 | 22.94 | 23.88 | 27.05 | 30.64 |
| 110 | 14.23 | 16.78 | 19.01 | 21.54 | 22.42 | 25.40 | 28.78 |
| 120 | 13.44 | 15.85 | 17.95 | 20.34 | 21.17 | 23.98 | 27.17 |
| 130 | 12.74 | 15.03 | 17.03 | 19.29 | 20.08 | 22.75 | 25.77 |
| 140 | 12.14 | 14.31 | 16.21 | 18.37 | 19.12 | 21.66 | 24.54 |
| 150 | 11.60 | 13.68 | 15.49 | 17.55 | 18.27 | 20.70 | 23.45 |
| 160 | 11.11 | 13.10 | 14.85 | 16.82 | 17.51 | 19.84 | 22.47 |
| 170 | 10.68 | 12.59 | 14.26 | 16.16 | 16.82 | 19.06 | 21.59 |
| 180 | 10.28 | 12.12 | 13.74 | 15.56 | 16.20 | 18.35 | 20.79 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 6-4. Estación Pluviométrica Checua Nemocón. Curvas IDF.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTANEOS

### 6.5.1 INTRODUCCIÓN

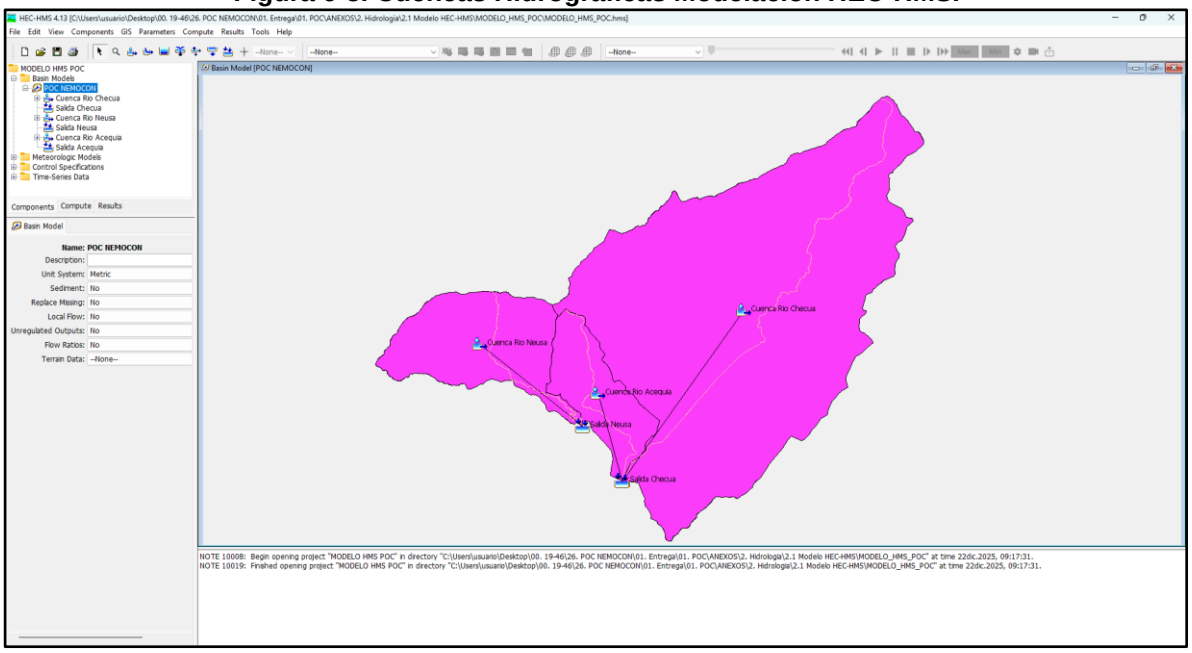
En primer término, estos cálculos se han concentrado en la hoya hidrográfica de la zona de proyecto debido a que no se contó con datos históricos de caudales máximos instantáneos, es necesario la implementación de métodos indirectos para hallar los caudales máximos sobre la corriente de estudio. Para ello, se utilizó la metodología del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, al cual se le aplicó la lluvia efectiva de diseño.

Los lineamientos básicos de las teorías de este hidrograma unitario de escorrentía superficial se explican pormenorizadamente en (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), (Hjelmfelt & Cassidy, 1976), (Monsalve Sáenz, 1995), (Ponce, 1989) y (Remeneiras, 1974). Tanto estos hidrogramas como los de creciente de escorrentía superficial para diferentes periodos de retorno fueron calculados con base en el programa de computador HEC-HMS, de acuerdo con (U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2008).

## 6.5.2 ÁREA DE DRENAJE

A continuación, se presentan las cuencas hidrográficas importadas a la modelación mediante la herramienta HEC-HMS.

**Figura 6-5. Cuencas Hidrográficas Modelación HEC-HMS.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Tabla 9. Características morfométricas de las cuencas principales.**

| NOMBRE | ÁREA CUENCA ($km^2$) | PERÍMETRO CUENCA (km) | LONGITUD DEL CAUCE (km) | LONGITUD AXIAL DE LA CUENCA (km) | ANCHO MEDIO DE LA CUENCA (km) | PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (m/m) | DESNIVEL ALTITUDINAL (m) | PENDIENTE PONDERADA DEL CAUCE (m/m) | ÍNDICE DE GRAVELIUS O COEFICIENTE COMPACIDAD (Kc) | FACTOR DE FORMA (Kf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | 26.928 | 27.140 | 10.563 | 6.994 | 3.850 | 0.03781 | 399.39 | 0.0177 | 1.46 | 0.55 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA LLUVIA

De acuerdo a los resultados obtenidos en las curvas intensidad - duración – frecuencia presentada para las estaciones pluviométricas mencionadas, ubicadas en la zona de influencia del proyecto, se calcularon las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 minutos, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. A continuación, se presenta la información de la estación CHECUA-NEMOCON [21205400] a manera de ejemplo. La información completa de todas las estaciones se encuentra en el anexo 2.2.4 “Curvas de Masas” del presente informe.

**Tabla 10. Curvas de Masas de Aguaceros Puntuales. (Valores en mm).**

| Tiempo (min) | Periodo de Retorno (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 11.54 | 13.61 | 15.42 | 17.47 | 18.19 | 20.61 | 23.34 |
| 15 | 13.25 | 15.63 | 17.70 | 20.06 | 20.88 | 23.65 | 26.80 |
| 20 | 14.61 | 17.23 | 19.52 | 22.12 | 23.02 | 26.08 | 29.55 |
| 30 | 16.77 | 19.78 | 22.41 | 25.39 | 26.43 | 29.94 | 33.92 |
| 40 | 18.50 | 21.81 | 24.71 | 27.99 | 29.14 | 33.01 | 37.40 |
| 50 | 19.95 | 23.53 | 26.66 | 30.20 | 31.44 | 35.62 | 40.35 |
| 60 | 21.23 | 25.04 | 28.36 | 32.13 | 33.45 | 37.89 | 42.93 |
| 70 | 22.37 | 26.38 | 29.89 | 33.86 | 35.25 | 39.93 | 45.24 |
| 80 | 23.41 | 27.61 | 31.28 | 35.43 | 36.89 | 41.79 | 47.34 |
| 90 | 24.37 | 28.74 | 32.56 | 36.88 | 38.39 | 43.50 | 49.28 |
| 100 | 25.26 | 29.79 | 33.74 | 38.23 | 39.79 | 45.08 | 51.07 |
| 110 | 26.09 | 30.77 | 34.85 | 39.49 | 41.10 | 46.57 | 52.75 |
| 120 | 26.87 | 31.69 | 35.90 | 40.67 | 42.34 | 47.96 | 54.34 |
| 130 | 27.61 | 32.56 | 36.89 | 41.79 | 43.51 | 49.29 | 55.84 |
| 140 | 28.32 | 33.40 | 37.83 | 42.86 | 44.62 | 50.55 | 57.26 |
| 150 | 28.99 | 34.19 | 38.73 | 43.88 | 45.68 | 51.75 | 58.62 |
| 160 | 29.63 | 34.95 | 39.59 | 44.85 | 46.69 | 52.89 | 59.92 |
| 170 | 30.25 | 35.67 | 40.41 | 45.79 | 47.66 | 53.99 | 61.17 |
| 180 | 30.84 | 36.37 | 41.21 | 46.68 | 48.60 | 55.05 | 62.37 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Posteriormente, con base a las curvas de masas se calcularon los incrementos de lluvias puntuales de los hietogramas de precipitación, a continuación, se presentan los resultados para la estación pluviométrica CHECUA-NEMOCON [21205400] a manera de ejemplo. La información completa de todas las estaciones se encuentra en el anexo 2.2.5 Incrementos de Precipitación del presente informe.

**Tabla 11. Incrementos de Lluvias Puntuales Hietogramas de Precipitación. (Valores en mm).**

| Intervalo de Tiempo (min) | Periodo de Retorno (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 0-10 | 11.63 | 13.72 | 15.54 | 17.61 | 18.33 | 20.76 | 23.52 |
| 10-20 | 3.09 | 3.65 | 4.13 | 4.68 | 4.87 | 5.52 | 6.25 |
| 20-30 | 2.18 | 2.57 | 2.91 | 3.29 | 3.43 | 3.88 | 4.40 |
| 30-40 | 1.74 | 2.05 | 2.32 | 2.63 | 2.74 | 3.10 | 3.51 |
| 40-50 | 1.47 | 1.73 | 1.96 | 2.22 | 2.31 | 2.62 | 2.97 |
| 50-60 | 1.29 | 1.52 | 1.72 | 1.95 | 2.03 | 2.29 | 2.60 |
| 60-70 | 1.15 | 1.36 | 1.54 | 1.74 | 1.81 | 2.05 | 2.33 |
| 70-80 | 1.05 | 1.23 | 1.40 | 1.58 | 1.65 | 1.87 | 2.12 |
| 80-90 | 0.96 | 1.14 | 1.29 | 1.46 | 1.52 | 1.72 | 1.95 |
| 90-100 | 0.90 | 1.06 | 1.20 | 1.36 | 1.41 | 1.60 | 1.81 |
| 100-110 | 0.84 | 0.99 | 1.12 | 1.27 | 1.32 | 1.50 | 1.69 |
| 110-120 | 0.79 | 0.93 | 1.05 | 1.19 | 1.24 | 1.41 | 1.60 |

| Intervalo de Tiempo (min) | Periodo de Retorno (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 120-130 | 0.75 | 0.88 | 1.00 | 1.13 | 1.18 | 1.33 | 1.51 |
| 130-140 | 0.71 | 0.84 | 0.95 | 1.07 | 1.12 | 1.27 | 1.44 |
| 140-150 | 0.68 | 0.80 | 0.90 | 1.02 | 1.07 | 1.21 | 1.37 |
| 150-160 | 0.65 | 0.76 | 0.87 | 0.98 | 1.02 | 1.16 | 1.31 |
| 160-170 | 0.62 | 0.73 | 0.83 | 0.94 | 0.98 | 1.11 | 1.26 |
| 170-180 | 0.60 | 0.71 | 0.80 | 0.91 | 0.94 | 1.07 | 1.21 |
| **TOTAL** | 11.63 | 13.72 | 15.54 | 17.61 | 18.33 | 20.76 | 23.52 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, mediante el método del bloque alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente fueron arreglados de la siguiente manera: el valor más bajo se colocó en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se colocó en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubicó en segundo lugar, el cuarto valor se localizó en el penúltimo lugar, y así sucesivamente. El resultado de estos cálculos corresponde con los hietogramas de lluvia puntual de los aguaceros de diseño y es presentados a continuación:

**Tabla 12. Incrementos Arreglados Hietogramas de Precipitación. (Valores en mm).**

| Intervalo de Tiempo (min) | Periodo de Retorno (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 0-10 | 0.59 | 0.70 | 0.79 | 0.90 | 0.94 | 1.06 | 1.20 |
| 10-20 | 0.64 | 0.76 | 0.86 | 0.97 | 1.01 | 1.15 | 1.30 |
| 20-30 | 0.70 | 0.83 | 0.94 | 1.07 | 1.11 | 1.26 | 1.42 |
| 30-40 | 0.78 | 0.92 | 1.05 | 1.19 | 1.23 | 1.40 | 1.58 |
| 40-50 | 0.89 | 1.05 | 1.19 | 1.35 | 1.40 | 1.59 | 1.80 |
| 50-60 | 1.04 | 1.23 | 1.39 | 1.57 | 1.64 | 1.85 | 2.10 |
| 60-70 | 1.28 | 1.50 | 1.70 | 1.93 | 2.01 | 2.28 | 2.58 |
| 70-80 | 1.72 | 2.03 | 2.30 | 2.61 | 2.72 | 3.08 | 3.49 |
| 80-90 | 3.07 | 3.62 | 4.10 | 4.64 | 4.83 | 5.48 | 6.20 |
| 90-100 | 11.54 | 13.61 | 15.42 | 17.47 | 18.19 | 20.61 | 23.34 |
| 100-110 | 2.16 | 2.55 | 2.89 | 3.27 | 3.40 | 3.86 | 4.37 |
| 110-120 | 1.46 | 1.72 | 1.95 | 2.21 | 2.30 | 2.60 | 2.95 |
| 120-130 | 1.14 | 1.35 | 1.53 | 1.73 | 1.80 | 2.04 | 2.31 |
| 130-140 | 0.96 | 1.13 | 1.28 | 1.45 | 1.51 | 1.71 | 1.93 |
| 140-150 | 0.83 | 0.98 | 1.11 | 1.26 | 1.31 | 1.48 | 1.68 |
| 150-160 | 0.74 | 0.87 | 0.99 | 1.12 | 1.17 | 1.32 | 1.50 |
| 160-170 | 0.67 | 0.79 | 0.90 | 1.02 | 1.06 | 1.20 | 1.36 |
| 170-180 | 0.84 | 0.99 | 1.12 | 1.27 | 1.32 | 1.50 | 1.70 |
| **TOTAL** | 41.90 | 49.42 | 55.98 | 63.42 | 66.02 | 74.80 | 84.73 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Cuando se utiliza la metodología del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service, se debe suponer que el caudal máximo ocasionado por una determinada intensidad del aguacero de diseño sobre un área de drenaje específica, es producido por el referido aguacero, el cual se prolonga durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración del flujo en el punto bajo consideración. Técnicamente, se define este último como el tiempo de concentración, Tc, el cual es el tiempo requerido para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje.

De acuerdo con (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), (Hjelmfelt & Cassidy, 1976), (Monsalve Sáenz, 1995), (Ponce, 1989) y (Remeneiras, 1974), para el tiempo de concentración, Tc, en cuencas pequeñas con alta accidentalidad o pendientes altas, se han analizado las siguientes fórmulas:

- ✓ **Fórmula de Kirpich**

$$T_c = 3.9780\, L^{0.77}\, S^{-0.385}$$

Donde,

$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, en min.

$L$: Longitud del cauce principal, en km.

$S$: Pendiente total del cauce principal, igual a la caída total entre la longitud del cauce principal, en m/m.

- ✓ **Fórmula de Témez**

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

Donde,

$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, en h.

$L$: Longitud del cauce principal, en km.

$S$: Pendiente del cauce principal, en %.

- ✓ **Fórmula de Giandotti**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5\, L}{25.3\, \sqrt{L\, S_o}}$$

Donde,

$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, en h.

$L$: Longitud del cauce principal, en km.

$A$: Área de la cuenca, en km².

$S_o$: Pendiente entre las cotas de puntos extremos de la corriente, en m/m.

- ✓ **Fórmula de SCS – Ranser**

$$T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde,

$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, en h.

$L$: Longitud del cauce principal, en km.

$H$: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en m.

- ✓ **Fórmula de Ventura – Heras**

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.75}$$

Donde,

$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica, en min.

$L$: Longitud del cauce principal, en km.

$S$: Pendiente total del cauce principal, igual a la caída total entre la longitud del cauce principal, en %.

En la Tabla 13 se presentan los valores de tiempo de concentración calculados. Sin embargo, y en caso de presentarse valores menores a 15 min en el valor del tiempo de concentración, se ha tomado este último valor, de acuerdo con (Chow, Handbook of Applied Hydrology, 1984), para tener en consideración el tiempo mínimo que tarda la lluvia en concentrarse inicialmente, el cual no tiene en cuenta el tamaño ni la pendiente de la cuenca.

**Tabla 13. Tiempos de Concentración.**

| NOMBRE | ÁREA CUENCA (km²) | KIRPICH | TEMEZ | GIANDOTTI | SCS-RANSER | VENTURA-HERAS | TC SELEC (minutos) | T Lag (minutos) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | 26.93 | 115.52 | 94.77 | 200.82 | 86.19 | 94.77 | 118.42 | 71.049 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Con base en los tiempos de concentración calculados, la presente consultoría decido emplear la media de los tiempos de concentración obtenidos y definir este valor como el tiempo de concentración representativo para la cuenca. Además, se ha calculado el tiempo de desfase $T_{lag}$, de las hoyas hidrográficas estudiadas en el presente informe.

### 6.5.5 FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA LLUVIA PUNTUAL POR ÁREA DE DRENAJE

En general, la precipitación para una duración determinada (o, en otras palabras, la intensidad promedio) decrece desde el centro de las tormentas, a medida que la distancia se incrementa a partir de este punto. La Precipitación máxima es representativa del centro de las tormentas, por lo cual la Precipitación promedio en la totalidad del área de drenaje deberá ser menor, dependiendo del tamaño y forma de la cuenca, de las tormentas históricas registradas, y de la localización del centro de Precipitación máxima. El cálculo de la reducción de la Precipitación a medida que se incrementa el área de drenaje se hace por medio de curvas de profundidad – área - duración para duraciones determinadas de la Precipitación. Para cada duración específica de la Precipitación se analizan las tormentas que tengan cubrimiento grande sobre el área de drenaje en consideración, y que sean suficientemente intensas. Posteriormente, se dibujan las isolíneas de Precipitación de cada tormenta, y por medio de éstas se calculan las curvas de profundidad de Precipitación - área de drenaje para cada duración.

La relación entre la profundidad de la Precipitación, relacionada a diferentes áreas de drenaje, y la Precipitación puntual, definida como el factor de reducción, se calcula posteriormente para modificar las curvas anteriores. Finalmente, se calcula la envolvente de las curvas definidas en el paso anterior para cada duración, la cual define la curva representativa de la relación profundidad de Precipitación - área de drenaje de la cuenca.

El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se calcula de acuerdo a las siguientes expresiones:

- ✓ **Ecuación de Fhrüling**

$$i_m = i_0(1.0 - 0.0054\,A^{0.25})$$

Donde,

$i_m$: Intensidad promedio de lluvia en la cuenca hidrográfica, mm/h.

$i_0$: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.

$(1 - 0.0054A^{0.25})$: Coeficiente de reducción de la lluvia, f(a), por el tamaño del área de drenaje A, estando esta última variable expresada en m².

- ✓ **Ecuación de Institution of Civil Engineers Proceedings**

$$i_m = i_0(1.0 - 0.0268\,T_c^{-0.261}A^{0.387})$$

Donde,

$i_m$: Intensidad promedio de lluvia en la cuenca hidrográfica, mm/h.
$i_0$: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.
$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca, en horas, h.
$A$: Área de drenaje de la cuenca, en kilómetros cuadrados, km².

- ✓ **Ecuación de Norte América**

$$i_m = i_0(1.0 - 0.05\, T_c^{-0.361}\, A^{0.264})$$

Donde,

$i_m$: Intensidad promedio de lluvia en la cuenca hidrográfica, mm/h.
$i_0$: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.
$T_c$: Tiempo de concentración de la cuenca, en horas, h.
$A$: Área de drenaje de la cuenca, en kilómetros cuadrados, km².

La presente consultoría define el factor de reducción por área como el promedio de los valores calculados con las ecuaciones previamente mencionadas. El resultado de esto se presenta en la Tabla 14.

**Tabla 14. Factor de Reducción por Área.**

| CUENCA | ÁREA (km²) | Tc Selec. (min) | Tc Selec. (horas) | FHRÜLING | INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS PROCEDINGS | NORTE AMÉRICA | FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL SELECCIONADO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | 26.93 | 118.42 | 1.974 | 0.61 | 0.92 | 0.91 | 0.8125 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.6 DEFINICIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

Una vez los hietogramas puntuales definidos en el numeral *6.5.3 ,* y el factor de reducción de lluvia espacial para cada una de las cuencas calculados en el numeral 6.5.5 se procede a definir la tormenta de diseño específica para cada una de las cuencas.

Por ende, de acuerdo a los polígonos de Thiessen de la Figura 4-33 definimos los siguientes hietogramas de diseño. A continuación, se presenta la información de la Cuenca del Río Neusa a manera de ejemplo. La información completa de todas las estaciones se encuentra en el anexo 2.2.10 “Hietogramas Espaciales VF” del presente informe.

| Factor de Reducción de Lluvia Espacial | 0.812 |
|---|---|

| Estación | NEUSA EL | REPRESA DEL NEUSA | CEDRAL EL | STA ANA |
|---|---|---|---|---|
| Área de Influencia (m²) | 4380386.664 | 17890204.11 | 4017304.80 | 640465.83 |
| Porcentaje del Área % | 16.26681475 | 66.43628939 | 14.9184896 | 2.378406233 |

**Tabla 15. Incrementos Arreglados de Lluvias Espaciales de Los Hietogramas De Precipitación. Área De Influencia de la Cuenca del Río Neusa. (Valores en mm).**

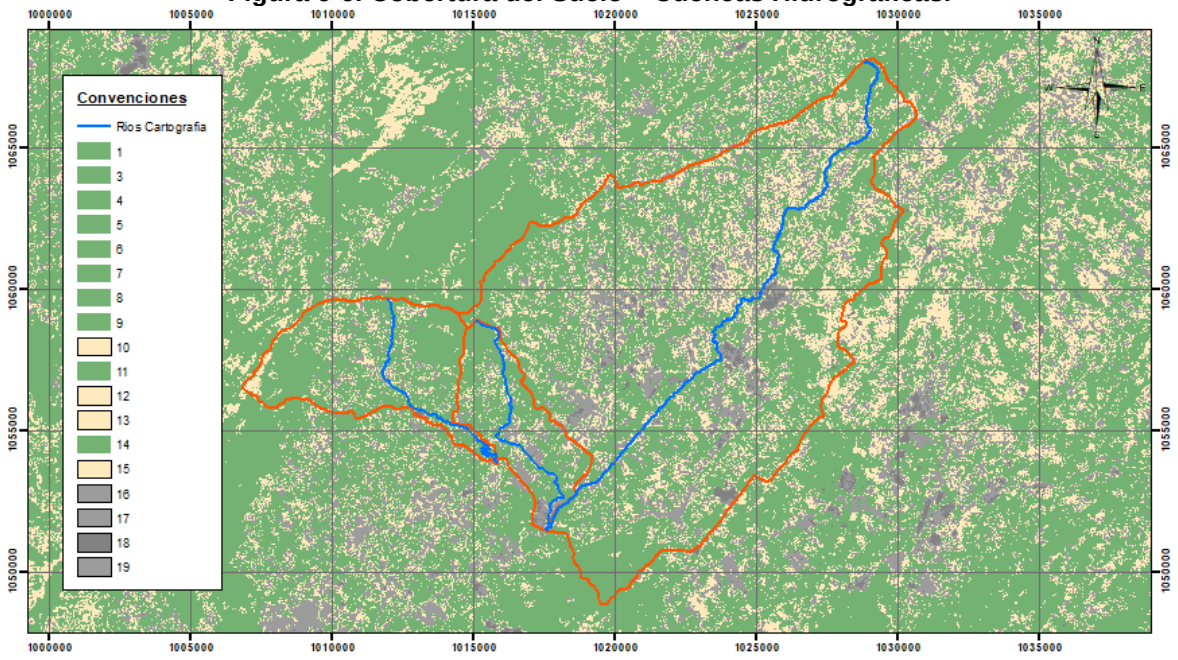
| Intervalo de Tiempo (min) | Periodo de Retorno (Años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 0-10 | 0.5461 | 0.6440 | 0.7296 | 0.8266 | 0.8604 | 0.9748 | 1.1043 |
| 10-20 | 0.5917 | 0.6978 | 0.7905 | 0.8955 | 0.9322 | 1.0561 | 1.1965 |
| 20-30 | 0.6482 | 0.7644 | 0.8660 | 0.9811 | 1.0213 | 1.1570 | 1.3108 |
| 30-40 | 0.7206 | 0.8498 | 0.9628 | 1.0907 | 1.1354 | 1.2863 | 1.4572 |
| 40-50 | 0.8176 | 0.9642 | 1.0923 | 1.2375 | 1.2882 | 1.4594 | 1.6533 |
| 50-60 | 0.9559 | 1.1274 | 1.2772 | 1.4469 | 1.5062 | 1.7063 | 1.9331 |
| 60-70 | 1.1739 | 1.3844 | 1.5684 | 1.7768 | 1.8496 | 2.0954 | 2.3739 |
| 70-80 | 1.5855 | 1.8698 | 2.1183 | 2.3998 | 2.4981 | 2.8301 | 3.2061 |
| 80-90 | 2.8225 | 3.3286 | 3.7709 | 4.2720 | 4.4470 | 5.0380 | 5.7074 |
| 90-100 | 10.6204 | 12.5248 | 14.1892 | 16.0747 | 16.7335 | 18.9571 | 21.4762 |
| 100-110 | 1.9870 | 2.3433 | 2.6547 | 3.0075 | 3.1307 | 3.5468 | 4.0181 |
| 110-120 | 1.3412 | 1.5817 | 1.7918 | 2.0299 | 2.1131 | 2.3939 | 2.7121 |
| 120-130 | 1.0509 | 1.2394 | 1.4041 | 1.5906 | 1.6558 | 1.8758 | 2.1251 |
| 130-140 | 0.8800 | 1.0378 | 1.1757 | 1.3319 | 1.3865 | 1.5708 | 1.7795 |
| 140-150 | 0.7653 | 0.9025 | 1.0224 | 1.1583 | 1.2058 | 1.3660 | 1.5475 |
| 150-160 | 0.6820 | 0.8043 | 0.9112 | 1.0323 | 1.0746 | 1.2174 | 1.3791 |
| 160-170 | 0.6183 | 0.7292 | 0.8261 | 0.9359 | 0.9742 | 1.1037 | 1.2503 |
| 170-180 | 0.5677 | 0.6696 | 0.7585 | 0.8593 | 0.8945 | 1.0134 | 1.1481 |
| **TOTAL** | 0.5461 | 0.6440 | 0.7296 | 0.8266 | 0.8604 | 0.9748 | 1.1043 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.7 DEFINICIÓN DE NÚMERO DE CURVA (CN)

El número de curva CN se obtuvo a partir del análisis de coberturas de suelo presente en la zona, para ello se implementa la metodología Corine Land Cover Colombia (CLC), la cual es una metodología adoptada por el Instituto Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para Colombia, la cual, consiste en la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat.

**Figura 6-6. Cobertura del Suelo – Cuencas Hidrográficas.**




****Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Con lo anterior, se define que la cuenca cuenta principalmente con tres tipos de cobertura de suelo y se asignan los valores de CN teóricos para cada cobertura de acuerdo a (V.T. Chow, Hidrología Aplicada, 1994). Los tipos de cobertura y los valores de CN definidos son los siguientes:

- ✓ Bosques: Pastizales en condiciones óptimas. CN = 74
- ✓ Bosques: Pastizales en condiciones pobres. CN = 86
- ✓ Techos, accesos, Parqueaderos pavimentados Etc.… CN = 98

A partir de lo anterior se realizó la ponderación por áreas para hallar el CN equivalente para cada una de las subcuencas en estudio. El resultado de la ponderación para cada subcuenca se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 16. Curva Número por Área.**

| CUENCA | TIPO DE SUPERFICIE | CN | PORCENTAJE DE INFLUENCIA (%) | CN PONDERADO | ÁREA (m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | Pastizales condiciones óptimas | 74 | 76.3% | 77.76682 | 20536593.15 |
| | Pastizales condiciones pobres | 86 | 16.1% | | 4330679.29 |
| | Techos, accesos, Parqueaderos pavimentados Etc… | 98 | 7.7% | | 2061092.83 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Adicionalmente, se calcula la abstracción inicial $(Ia)$ presente en la cuenca, la cual es aproximadamente el 20% de la abstracción total $(S)$, donde de acuerdo al método de Curva Número.

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \;\; ; \;\; Ia = 0.2S$$

Por lo tanto, la abstracción inicial para cada una de las cuencas se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17. Abstracción Inicial por Área.**

| CUENCA | FACTOR S | | ABSTRACIÓN INICIAL (mm) |
|---|---|---|---|
| | (in) | (mm) | |
| Cuenca Río Neusa | 2.86 | 72.62 | 14.523487 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.8 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE

- ✓ **Descripción Teórica Método del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service**

El hidrograma unitario es un modelo lineal simple que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia, considerada como uniforme en el espacio y variable en el tiempo. Las siguientes suposiciones básicas son inherentes en este modelo:

- El exceso de Precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva y las tormentas seleccionadas para el análisis deben ser de corta duración.
- El exceso de Precipitación está uniformemente distribuido en toda el área de drenaje; si ésta es muy grande, debe dividirse en subcuencas analizando tormentas que cubran toda la subárea.
- El tiempo base de la duración de la escorrentía directa resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante.
- Las ordenadas de todas las duraciones de escorrentía directa de una base de tiempo común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma.

Como tiempo de duración de la lluvia unitaria, se consideró menor o igual a la quinta parte del tiempo de concentración. Para una cuenca dada el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca. El hidrograma unitario se considera único para la cuenca dada, e invariable con respecto al tiempo, y es aplicable solamente cuando no se presenten cambios ni almacenamientos apreciables en la cuenca estudiada.

A pesar de que el modelo fue desarrollado originalmente en cuencas grandes, se ha encontrado que puede aplicarse a cuencas pequeñas desde menos de 2.5 hasta 250 km2 aproximadamente. Para hallar el caudal máximo originado por la escorrentía directa, se utilizó el hidrograma unitario curvilíneo, cuyo pico está definido la siguiente ecuación:

$$q_p = 0.208 \frac{A\,E}{T_p}$$

$$T_p = \left(\frac{10}{9}\right) T_{lag}$$

$$T_{lag} = 0.6\,T_c$$

Donde,

$q_p$: Caudal unitario máximo, en (m³/s) /mm de lluvia.

$A$: Área de la cuenca considerada, km².

$E$: Precipitación efectiva unitaria, en mm.

$T_p$: Tiempo al pico del hidrograma, en horas, medido desde le comienzo.

$T_{lag}$: Tiempo de retardo en horas, medido entre los centros de gravedad del hietograma de lluvia espacial e hidrograma unitario.

$T_c$: Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, h.

$L$: Longitud del cauce, en m.

$S$: Pendiente de la cuenca, en m/m.

La distribución temporal del hietograma de lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de las siguientes relaciones empíricas:

Donde,

$Q$: Escorrentía total acumulada, en mm.

$P$: precipitación total del evento, en mm.

$IA$: Abstracción inicial, mm.

$CN$: Curva número.

### 6.5.9 MODELO HEC-HMS

El programa HEC-HMS (Hidrological Engineering Center – Hidrologic Modeling System), fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de la Armada de Estados Unidos con el propósito de simular la respuesta hidrológica de una cuenca a un evento dado. El programa

fue diseñado para resolver una variedad de problemas en diferentes condiciones geográficas, incluyendo cuencas de gran tamaño, cuencas urbanas y cuencas naturales.

Los hidrogramas producidos por el programa pueden ser utilizados de manera directa o en conjunto con otros programas para elaborar estudios de disponibilidad de recursos hídricos, drenaje urbano, pronóstico de inundaciones, impacto de urbanizar el área, diseño de embalses, control de inundaciones entre otros. La interfaz está organizada de tal forma en que HEC-HMS está dividido en, modelo de cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y entrada de datos.

- ✓ **Modelo de la cuenca**

El modelo de la cuenca es la representación esquemática representativa de la cuenca física por medio del empleo de elementos hidrológicos. El programa considera los elementos detallados en la siguiente tabla

**Tabla 18. Elementos y descripción en HEC-HMS.**

| *Elemento/Símbolo* | *Descripción* |
|---|---|
| Sub Cuenca   | Representación de la sub cuenca física. Dada la precipitación, el flujo es calculado restando las pérdidas, transformando los excedentes de precipitación en escorrentía y sumando el flujo básico |
| Tramos de Tránsito   | Representa el flujo aguas abajo. El flujo de entrada es provisto por el elemento aguas arriba. Su flujo de salida es calculado tomando en cuenta el método del tránsito seleccionado. |
| Uniones   | Se utiliza para combinar tramos aguas arriba. El flujo de entrada es provisto por uno o más elementos aguas arriba. Su flujo de salida es calculado sumando los flujos de entrada y asumiendo que no hay almacenamiento. |
| Fuentes   | Se utiliza para introducir flujo en el modelo de la cuenca. Provee dato de salida de flujo especificado por el usuario. |
| Sumidero   | Se utiliza para representar el punto de cierre de la cuenca. Recibe los datos de flujo entrante de uno o más elementos aguas arriba. |
| Embalses   | Se utiliza para modelar la retención de un hidrograma causado por un tipo de embalse. Recibe los datos de flujo entrante de uno o más elementos aguas arriba y el flujo de salida se calcula según el método seleccionado por el usuario. |
| Derivaciones   | Se utiliza para modelar flujo que deja de circular por el canal principal. Recibe los datos de flujo de entrada de uno o más elementos aguas arriba. Tiene dos flujos de salida, el derivado y el que permanece en el canal. El usuario debe proveer el dato de flujo derivado. |

***Elaboró: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**
***Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**

### ✓ Modelo Meteorologico

HEC-HMS dispone de una serie de métodos para calcular las pérdidas, tránsito y flujo base con el fin de determinar el caudal de salida. Estos modelos son:

**Tabla 19. Tipos de pérdidas y sus métodos.**

| *Tipo* | *Método* |
|---|---|
| Pérdidas | Déficit y tasa constante<br>Inicial y tasa constante<br>Exponencial<br>Número de curva CN SCS<br>Green y Ampt<br>Consideración de la humedad del suelo (SMA)<br>DC por celdas<br>CN SCS por celdas<br>SMA por celdas |
| Transformación lluvia - caudal | Hidrograma Unitario (HU) de Clark<br>Onda cinemática<br>ModClark<br>HU SCS<br>HU Snyder<br>HU Especificado por el usuario<br>Hidrograma en S del usuario |
| Flujo Base | Recesión restringida<br>Constante Mensual<br>Depósito Lineal<br>Recesión |

***Elaboró: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**
***Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**

La función del modelo meteorológico es calcular la precipitación de cada sub cuenca. Este modelo puede utilizar precipitaciones puntuales o por celdas y a la vez modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración.

**Tabla 20. Tipos de datos y métodos.**

| *Series temporales de datos* | *Pares de datos* | *Datos por celdas* |
|---|---|---|
| Pluviómetros | Funciones de almacenamiento-caudal | Precipitación |
| Medidores de Caudal | Funciones cota – Almacenamiento | Temperatura |
| Limnímetros | Funciones cota – área | Radiación solar |
| Termómetros | Funciones caudal – Derivación | Coeficiente de cultivo |
| Medidores de radiación solar | Secciones transversales | Capacidad de almacenamiento |

| | | |
|---|---|---|
| Medidores de radiación solar | Secciones transversales | Capacidad de almacenamiento |
| Medidores de coeficiente de cultos | Hidrogramas unitarios | Tasa de percolación |
| | Curvas de porcentajes | Coeficientes de almacenamiento |
| | Funciones de fusión de nieve | Déficit de humedad |
| | Patrones de tasa de función de nieves | Área impermeable |
| | | CN – SCS |
| | | Cotas |
| | | Equivalente de aguas de nieve |
| | | Contenido de agua |
| | | Tasa de fusión de nieve |

***Elaboró: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**
***Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**

### ✓ Entrada de datos

La entrada de datos puede corresponder a datos de series temporales, pares de datos y datos por celdas. Estos datos son utilizados como parámetros de contorno en el modelo de cuenca y el modelo meteorológico. Los mismos pueden ser introducidos a mano o bien referenciarse al registro HEC – Data Storage System (HEC – DSS). En el caso de los datos por celdas estos deben ser referenciados a un HEC-DSS existente

**Tabla 21. Método de entrada de datos y su descripción.**

| *Método* | *Descripción* |
|---|---|
| Tormenta asociada a frecuencia | Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente. |
| Pluviómetros con peso | Aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee. |
| Precipitación por celdas | Permite usar productos por precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de Radar. |
| Inversa de la distancia | Calcula la precipitación media en una sub cuenca aplicando una ponderación basado en la inversa de la distancia al cuadrado. |
| Tormenta del SCS | Aplica una distribución temporal tipo SCS aun volumen total de lluvia en 24 horas. |
| Hietograma especificado | Aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de sub cuenca. |
| Tormenta de proyecto estándar. | Aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación. Válido únicamente para los Estados Unidos. |

***Elaboró: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**
***Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide Version 4.2.**

✓ **Especificaciones de control**

Las especificaciones de control establecen la duración de la simulación e incluye la hora de comienzo y fin del proyecto.

✓ **Resultados**

Los resultados se obtienen de una corrida "Run" en donde HEC-HMS realiza todo el modelo hidrológico y genera un caudal de descarga, permitiendo al usuario hacer uso de distintos reportes que genera.

## 6.5.10 DESCRIPCIÓN MODELACIÓN HEC-HMS

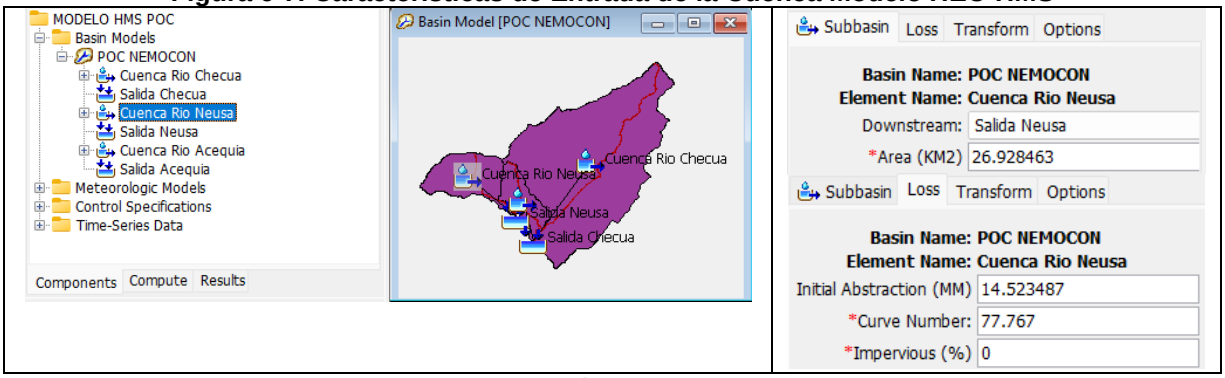
El cálculo del hidrograma total se realizó considerando el hidrograma unitario afectado por la escorrentía directa o Precipitación efectiva en cada duración unitaria del hietograma, el cual se va desplazando tal duración. El hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas unitarios para cada valor constante de tiempo. Para el presente estudio no se adicionó el caudal base, dado que no se posee información para su obtención y que su porcentaje es mínimo en relación al caudal pico. Para ello, se usó el modelo de computador HEC-HMS, considerando (U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2008).

Para los trabajos particulares relacionados con estos estudios, se utilizó la versión más reciente de este modelo hidrológico HEC-HMS 4.9.

**1. Características físicas de la cuenca**

En primera instancia se incluye la cuenca hidrográfica y sus características propias halladas anteriormente, tales como el área, el tiempo de desfase ($\boldsymbol{T_{lag}}$), el Curva Número ($\boldsymbol{CN}$), la Abstracción Inicial ($\boldsymbol{IA}$) propio de las cuencas hidrográficas. En la *6.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAs CUENCAs HIDROGRÁFICA* se presentan las características introducidas en el Modelo HEC-HMS para una de las cuencas.

**Figura 6-7. Características de Entrada de la Cuenca Modelo HEC-HMS**

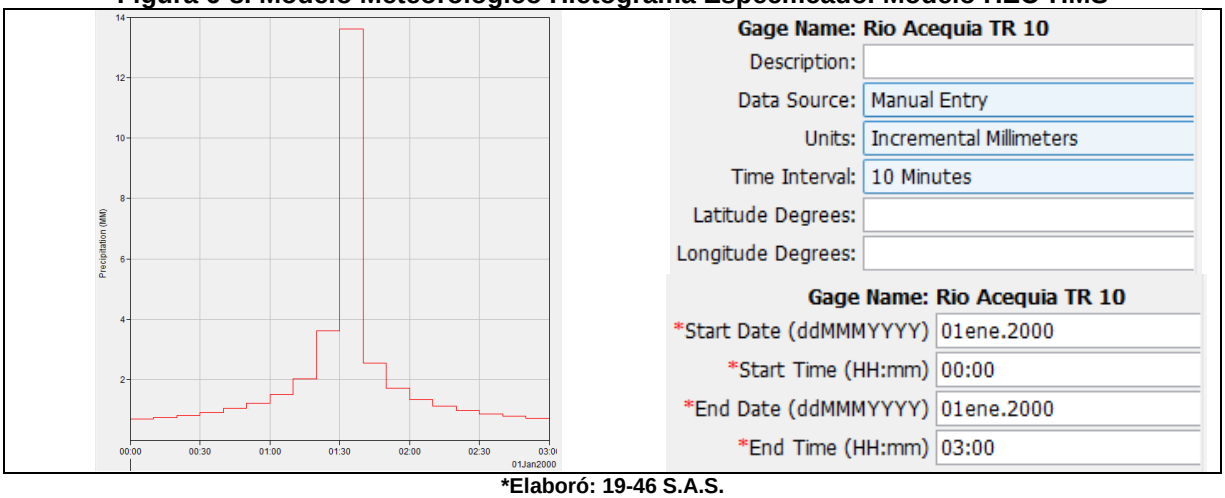



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 2. Modelo meteorológico

Para HEC-HMS se emplea el modelo meteorológico de hietograma especificado, para lo cual se define el intervalo de tiempo cada 10 minutos y se ingresan los valores de los hietogramas de diseño calculados.

**Figura 6-8. Modelo Meteorológico Hietograma Especificado. Modelo HEC-HMS**

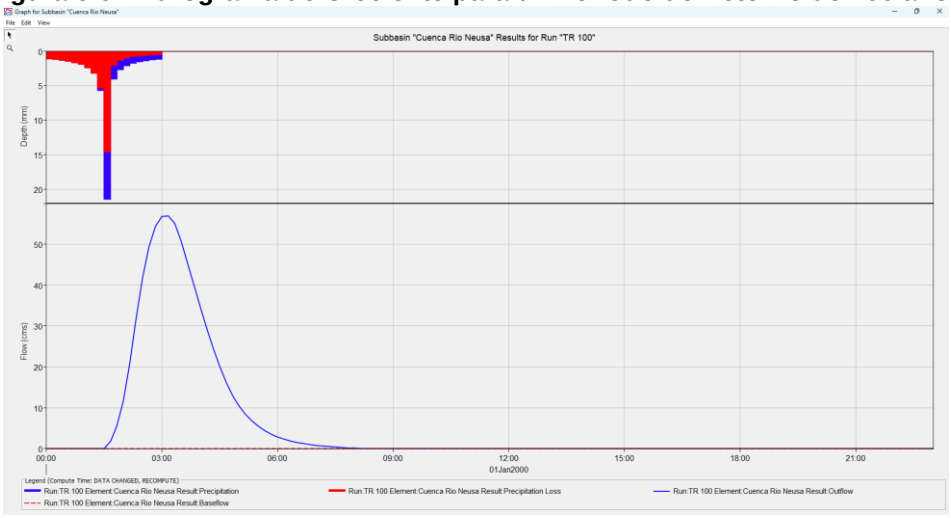



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.11 RESULTADOS MODELACIÓN HEC-HMS

A partir de los datos de entrada y las condiciones puestas para la simulación se obtuvieron los caudales y los hidrogramas de crecientes para los diferentes periodos de retorno simulados. En la Figura 6-9, se presenta el hidrograma de creciente obtenido para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del río Neusa. En el anexo 2.1 se encuentra la modelación hidrológica con los resultados de los demás períodos de retorno para las diferentes cuencas.

**Figura 6-9. Hidrograma de Creciente para un Periodo de Retorno de 100 años**




****Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Finalmente, en la Tabla 22 se presentan los caudales para diferentes periodos de retorno para las cuencas del proyecto. En el Anexo 2.1 se incluye el modelo hidrológico realizado.

**Tabla 22. Caudales Máximos Instantáneos para Diferentes Periodos de Retorno.**

| NOMBRE | ÁREA ($km^2$) | LONGITUD DEL CAUCE (km) | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SELECCIONADO (min) | CN | FACTOR DE REDUCCIÓN POR LLUVIA ESPACIAL ADOPTADO | CAUDAL ($m^3/s$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | T= 2 AÑOS | T= 5 AÑOS | T= 10 AÑOS | T= 25 AÑOS | T= 50 AÑOS | T= 100 AÑOS |
| Cuenca Río Neusa | 26.9285 | 10.563 | 118.415 | 77.77 | 0.8125 | 7.847 | 13.80 | 20.07 | 31.50 | 42.82 | 56.89 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

## 6.5.12 JUSTIFICACIÓN DE FÓRMULAS EMPLEADAS

### 6.5.12.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

La metodología para la deducción de las curvas intensidad - duración - frecuencia, se explica con todo detalle en (Vargas M & Díaz-Granados, 1998).

### 6.5.12.2 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración utilizado para la determinación de la intensidad de lluvias promedio sobre la hoya respectiva, se calculó con base a diferentes fórmulas recomendadas en la literatura especializada, las cuales se presentan con todo detalle en el informe. Se seleccionó, desde el punto de vista de la seguridad para el método del Hietograma especificado, el tiempo de concentración proveniente del promedio de todas las fórmulas empleadas.

### 6.5.12.3 Modelo de computador HEC-HMS

Se utilizó para la estimación de los hidrogramas de creciente en las hoyas hidrográficas aferentes a la zona de proyecto cuyos límites topográficos pudieran ser estimados por medio de las restituciones aerofotogramétricas disponibles. Es, quizás, uno de los modelos de computador para estimación de hidrogramas de creciente en hoyas hidrográficas por su gran versatilidad. En el informe se explican con todo detalle las características más importantes de este modelo.

# *7. ESTUDIO HIDRÁULICO*

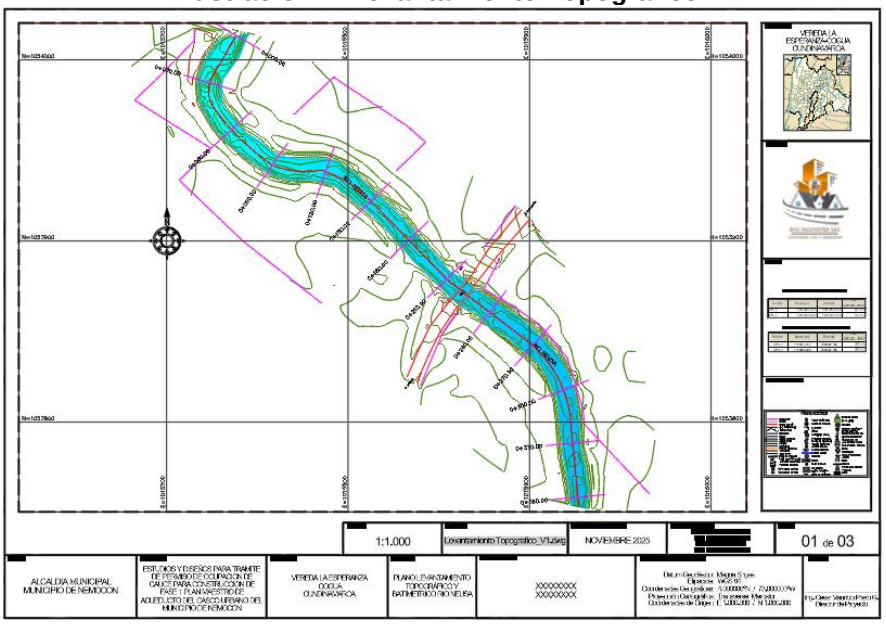
## 7.1 INTRODUCCIÓN

La información primaria se recopiló en campo, y se refiere a las caracterizaciones hidráulicas pertinentes. Durante el transcurso de estos estudios, se ejecutaron investigaciones topográficas en la zona donde se proyecta la construcción de la línea de conducción del

municipio de Nemocón en su intersección con los cauces objeto de estudio en el presente contrato.

Para la corriente en estudio en su condición actual, se llevaron a cabo los cálculos hidráulicos mediante la utilización del modelo HEC – RAS, de acuerdo con (U.S Army Corps of Engineers, 2010), y teniendo en cuenta los levantamientos topográficos de la zona, esta información se encuentra en el Anexo 3.1

**Ilustración 1. Levantamiento Topográfico.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Informe Topográfico.**

En el Anexo 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan en archivo magnético las modelaciones de HEC – RAS de los cauces estudiados.

## 7.2 MODELO COMPUTACIONAL HEC-RAS

### 7.2.1 CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS

Este modelo simula la hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal bajo flujo gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h$$

Donde,

$Z$: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este como término de cabeza de posición.

$Y$: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado término cabeza de presión, en m.

$\frac{V_1^2}{2g}$: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), denominando este termino cabeza de velocidad, en m.

$h$: perdidas de energías en el tramo, incluye pérdidas por fricción y localizadas, en m.

Las pérdidas por fricción en el tramo $h_f$ para flujo gradualmente variado en un tramo de longitud L del canal se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$h_f = \frac{(S_{e1} + S_{e2})}{2} L$$

En donde $S_{e1}\ y\ S_{e2}$ corresponden a los valores de la pendiente de la línea de energía aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo. Estos valores se expresan por medio de la fórmula de Manning para flujo uniforme en cada sección del tramo:

$$S_e = \frac{n^2 v^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

Donde,

$n$: Coeficiente de rugosidad de Manning

$v$: Velocidad promedio del agua, en m/s.

$R$: Radio hidráulico, en m. Recordando que $R = \frac{Área\ Hidráulica}{Perimetro\ Mojado}$

Por otro lado, las pérdidas localizadas $h_l$ en un punto del canal se expresan mediante la ecuación:

$$hl = K\ ABS\left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right)$$

Donde:

$K$: Coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.

$v$: Velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto o tramo en donde se produce la pérdida localizada, en m/s.

$ABS$: Representa el valor absoluto del término.

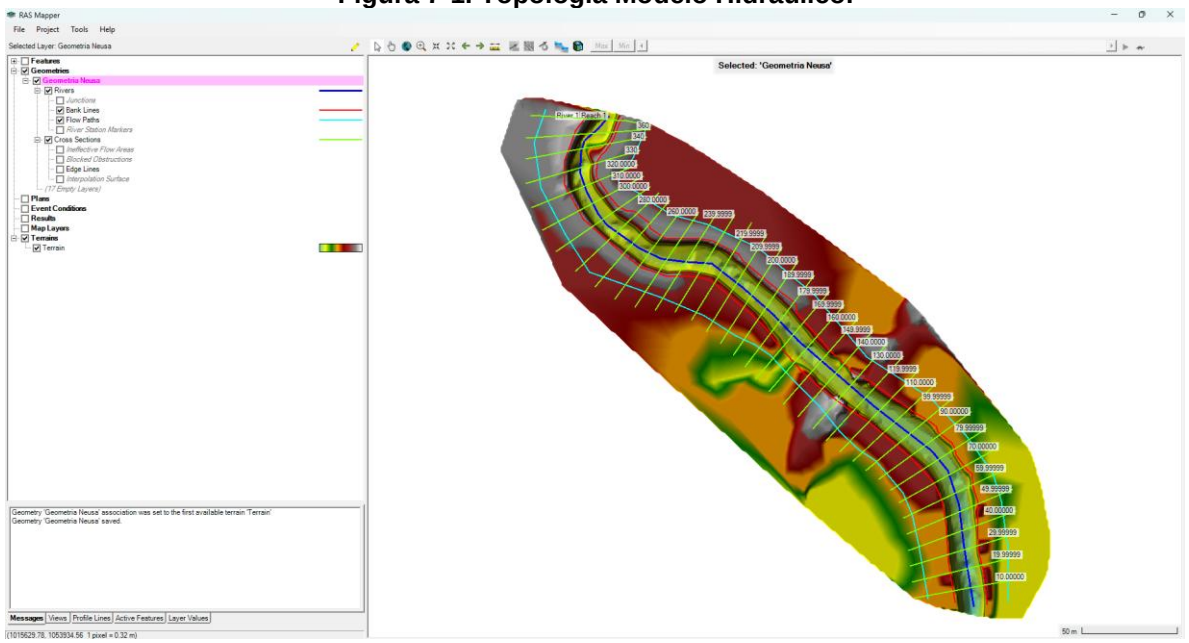
$$h_l = K * ABS\left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}\right)$$

## 7.2.2 VARIABLES DE ENTRADA

- ✓ **Geometría y Topología**

El modelo hidráulico del Río Neusa, Río Acequia La Toma y Río Checua, se realizó por medio del módulo de RAS Mapper del software HEC-RAS, a continuación, se presenta una ilustración en planta en la que se puede observar la disposición de la topología del modelo:

**Figura 7-1. Topología Modelo Hidráulico.**

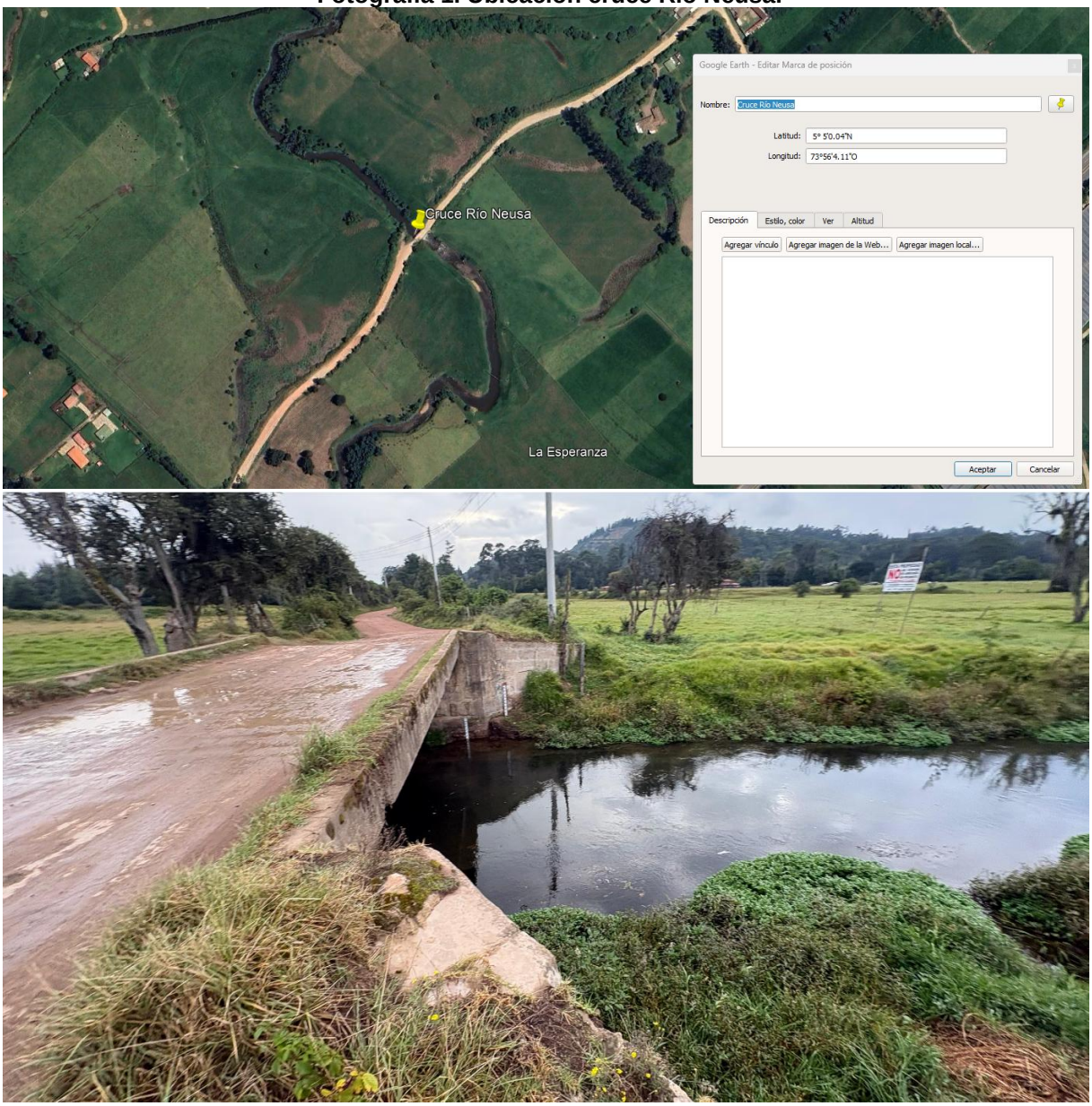



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

La información presentada a manera de ejemplo corresponde a la topología del Río Neusa. La información completa de los otros cauces se encuentra en el anexo 3.3 Modelo HEC-RAS Checua y 3.4 Modelo HEC-RAS Acequia.

A continuación, se presentan fotografías del punto donde se proyecta la construcción de la tubería de conducción de agua potable, que cruza los cauces: Río Neusa (Latitud 5°5’0.043”N, Longitud 73°56’4.11”W), Acequia La Toma (Latitud 5°3’41.86”N, Longitud 73°55’8.694”W) y Río Checua (Latitud 5°3’41.729”N, Longitud 73°55’8.3”W) con la finalidad de transportar el caudal correspondiente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el sistema de almacenamiento Perico.

**Fotografía 1. Ubicación cruce Río Neusa.**

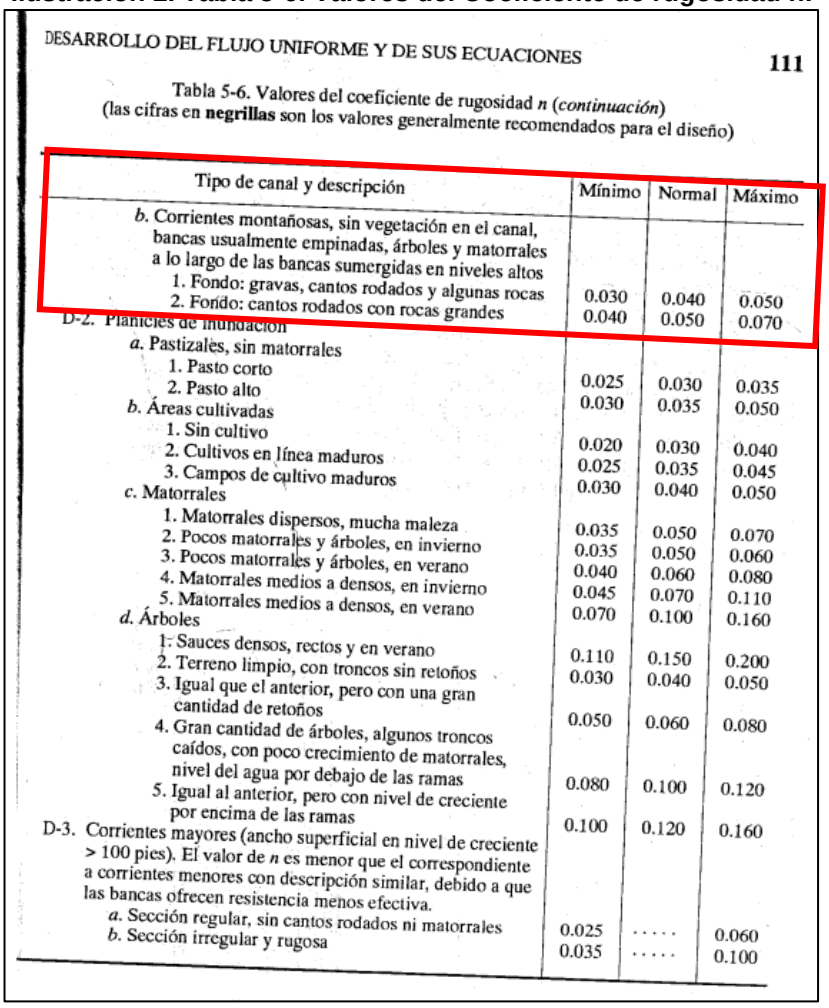



***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

- ✓ **Definición Coeficiente de Manning**

Con base a los valores de Coeficientes de rugosidad de Manning teóricos recomendados definidos en la *Tabla 5-6 Valores del Coeficiente de rugosidad n* en (V.T. Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 1994). Y sabiendo que la quebrada se encuentra localizada en una zona con presencia de árboles y matorrales, tenemos:

**Ilustración 2. Tabla 5-6. Valores del Coeficiente de rugosidad n.**



DESARROLLO DEL FLUJO UNIFORME Y DE SUS ECUACIONES 111

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad *n* (*continuación*)
(las cifras en **negrillas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

| Tipo de canal y descripción | Mínimo | Normal | Máximo |
|---|---|---|---|
| *b.* Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos | | | |
| 1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes | 0.040 | 0.050 | 0.070 |
| D-2. Planicies de inundación | | | |
| *a.* Pastizales, sin matorrales | | | |
| 1. Pasto corto | 0.025 | 0.030 | 0.035 |
| 2. Pasto alto | 0.030 | 0.035 | 0.050 |
| *b.* Áreas cultivadas | | | |
| 1. Sin cultivo | 0.020 | 0.030 | 0.040 |
| 2. Cultivos en línea maduros | 0.025 | 0.035 | 0.045 |
| 3. Campos de cultivo maduros | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| *c.* Matorrales | | | |
| 1. Matorrales dispersos, mucha maleza | 0.035 | 0.050 | 0.070 |
| 2. Pocos matorrales y árboles, en invierno | 0.035 | 0.050 | 0.060 |
| 3. Pocos matorrales y árboles, en verano | 0.040 | 0.060 | 0.080 |
| 4. Matorrales medios a densos, en invierno | 0.045 | 0.070 | 0.110 |
| 5. Matorrales medios a densos, en verano | 0.070 | 0.100 | 0.160 |
| *d.* Árboles | | | |
| 1. Sauces densos, rectos y en verano | 0.110 | 0.150 | 0.200 |
| 2. Terreno limpio, con troncos sin retoños | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños | 0.050 | 0.060 | 0.080 |
| 4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas | 0.080 | 0.100 | 0.120 |
| 5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas | 0.100 | 0.120 | 0.160 |
| D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de *n* es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva. | | | |
| *a.* Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales | 0.025 | ..... | 0.060 |
| *b.* Sección irregular y rugosa | 0.035 | ..... | 0.100 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: V.T. Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 1994.**

Con lo anterior, se selecciona un n de Manning de:

$$\boldsymbol{n = 0.050}$$

## 7.2.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

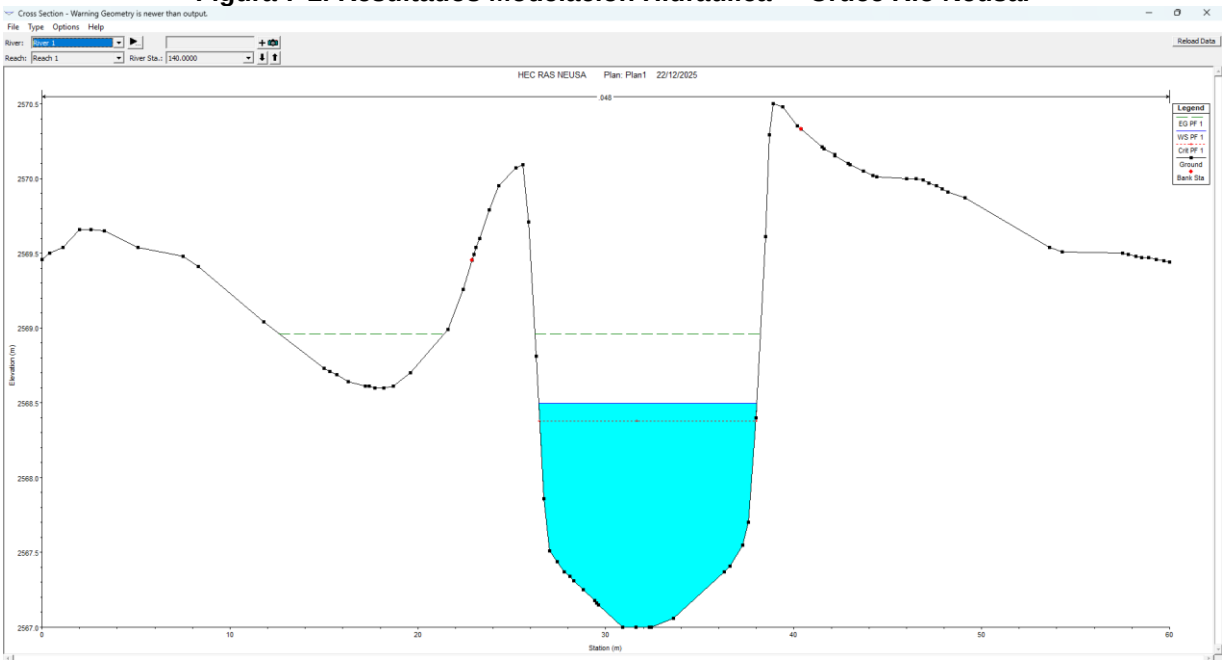
A partir del modelo hidráulico realizado anteriormente se obtuvieron los resultados para la zona de proyecto. Estos resultados de la modelación incluyen los siguientes aspectos para cada sección transversal considerada:

- ✓ Abscisa de la sección transversal
- ✓ Caudal total

- ✓ Cota de fondo mínima de la sección transversal
- ✓ Nivel de la lámina de agua.
- ✓ Lámina de agua máxima en la sección transversal.
- ✓ Nivel de la profundidad crítica
- ✓ Nivel de la línea de energía
- ✓ Pendiente de la línea de energía
- ✓ Velocidad promedio del agua
- ✓ Área hidráulica
- ✓ Ancho de la superficie libre de agua de la sección transversal
- ✓ Número de Froude.

A continuación, se muestran los resultados de profundidades de lámina de agua para la sección transversal de cruce del Río Neusa para cada uno de los períodos de retorno mencionados anteriormente:

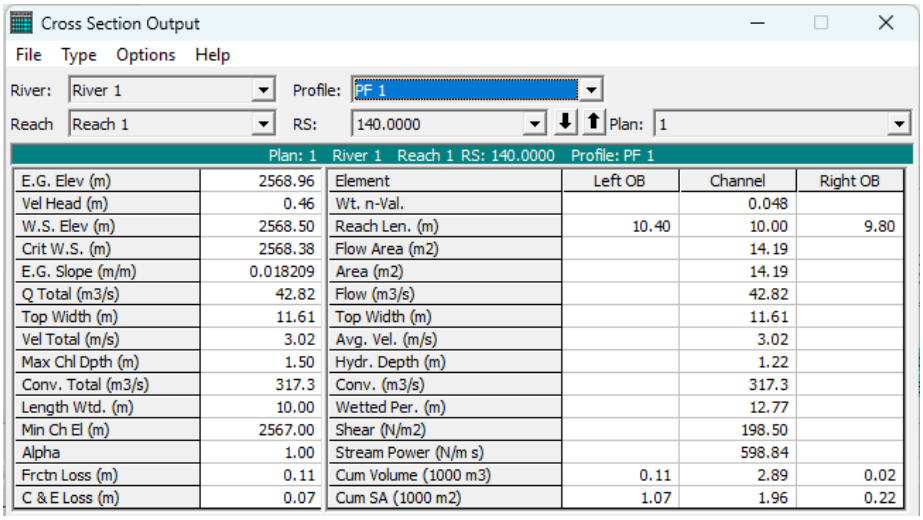
**Figura 7-2. Resultados Modelación Hidráulica – Cruce Río Neusa.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

Adicionalmente se muestran los resultados para un periodo de retorno de 100 años específicamente en la estación 140 (Número de estación de acuerdo al Modelo Hidráulico donde se proyecta el paso de la tubería proyectada)

**Tabla 23. Río Neusa Estación 140- Resultados Modelación Hidráulica TR 100 Años.**



Cross Section Output

File Type Options Help

River: River 1 Profile: PF 1

Reach Reach 1 RS: 140.0000 Plan: 1

Plan: 1 River 1 Reach 1 RS: 140.0000 Profile: PF 1

| | | Element | Left OB | Channel | Right OB |
|---|---|---|---|---|---|
| E.G. Elev (m) | 2568.96 | Wt. n-Val. | | 0.048 | |
| Vel Head (m) | 0.46 | Reach Len. (m) | 10.40 | 10.00 | 9.80 |
| W.S. Elev (m) | 2568.50 | Flow Area (m2) | | 14.19 | |
| Crit W.S. (m) | 2568.38 | Area (m2) | | 14.19 | |
| E.G. Slope (m/m) | 0.018209 | Flow (m3/s) | | 42.82 | |
| Q Total (m3/s) | 42.82 | Top Width (m) | | 11.61 | |
| Top Width (m) | 11.61 | Avg. Vel. (m/s) | | 3.02 | |
| Vel Total (m/s) | 3.02 | Hydr. Depth (m) | | 1.22 | |
| Max Chl Dpth (m) | 1.50 | Conv. (m3/s) | | 317.3 | |
| Conv. Total (m3/s) | 317.3 | Wetted Per. (m) | | 12.77 | |
| Length Wtd. (m) | 10.00 | Shear (N/m2) | | 198.50 | |
| Min Ch El (m) | 2567.00 | Stream Power (N/m s) | | 598.84 | |
| Alpha | 1.00 | Cum Volume (1000 m3) | 0.11 | 2.89 | 0.02 |
| Frctn Loss (m) | 0.11 | Cum SA (1000 m2) | 1.07 | 1.96 | 0.22 |
| C & E Loss (m) | 0.07 | | | | |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**

# *8. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN*

## 8.1 INTRODUCCIÓN

La socavación total en una corriente de agua se divide en la socavación generalizada que sufre el fondo del cauce ante eventos de crecientes máximas extraordinarias, y la socavación localizada al pie de estructuras, como pilas o estribos de un puente, o sobre obras de defensa de la corriente misma, como espolones, muros de protección, etc.

## 8.2 SOCAVACIÓN GENERALIZADA

Para realizar el estudio de la socavación general se emplea el método propuesto por r Lischtvan – Lebediev, de acuerdo con (Maza Álvarez, Socavación en Cauces Naturales, 1968) y (Maza Álvarez & García Flores, Manual de Ingeniería de Ríos, 1989), el cual se basa en la obtención de la condición de equilibrio entre la velocidad media del flujo y la velocidad media máxima necesaria para no erosionar el material del fondo. Para suelos homogéneos, conocido el material del fondo en la sección o tramo en estudio, y aceptando que las rugosidades son constantes en todo el ancho de la sección, la profundidad de la socavación se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

- ✓ **Para suelos granulares no cohesivos**

- Si $0.00005\,m \leq D_{84} \leq 0.0028$

$$d_s = \left( \frac{\alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{4.70 \beta D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.03}}{0.322 + D_{84}^{0.03}}}$$

- Si $0.0028\, m \leq D_{84} \leq 0.182$

$$d_s = \left( \frac{\alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{4.70 \beta D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.187}}{0.191 + D_{84}^{0.187}}}$$

- Si $0.182\, m \leq D_{84} \leq 1.0$

$$d_s = \left( \frac{\alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{4.70 \beta D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.092}}{0.223 + D_{84}^{0.092}}}$$

✓ **Para suelos cohesivos**

$$d_s = \left( \frac{5780 \alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{\beta \gamma_d^{1.18}} \right)^{\frac{\gamma_d^{0.725}}{66.28 + \gamma_d^{0.725}}}$$

Donde, para las ecuaciones anteriores tenemos:

$d_s$: Profundidad hasta el fondo ya socavado, en m. Se mide desde la elevación de la superficie del agua al presentarse el caudal de diseño, sobre la misma vertical de $d_0$, en m.

$d_0$: Profundidad inicial, en una línea vertical dada, entre el nivel del agua cuando se presenta el caudal de diseño, y el nivel del fondo inicial (levantando normalmente en el estiaje anterior), en m.

$D_{84}$: Significa el diámetro de la muestra de sedimento en que el 84 por ciento en peso es menor que ese tamaño, en m.

$\gamma_d$: Es el peso específico seco, conocido en hidráulica fluvial como peso volumétrico seco, y es igual al peso seco de la muestra entre su volumen inicial, en $kg_f/m^3$

$\beta$: Coeficiente en función del periodo de retorno $(T)$, asociado al caudal de diseño en años cuya expresión fue expuesta para T entre 15 y 1500 años. La cual está definida como:

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \ln (T)$$

$\alpha$: Coeficiente que representa la conductancia de la sección de escurrimiento, como consecuencia de la pendiente de energía y coeficiente de rugosidad. De acuerdo a la metodología es considerada constante para toda la sección.

$$\alpha = \frac{Q_d}{\mu B_e d_m^{\frac{5}{3}}}$$

Donde,

$Q_d$: Caudal de diseño o caudal máximo de la creciente para la cual se desea calcular la erosión, en m³/s.

$B_e$: Ancho efectivo de la superficie libre del cauce, en m. Se calcula a partir del ancho real del cauce, al que se le reduce el ancho de todos los obstáculos.

$d_m$: Lámina de agua media o profundidad media, medida entre la superficie del agua al pasar el gasto $Q_d$ y el perfil del fondo original, en m. Se obtiene dividiendo el área hidráulica $A$ entre el ancho efectivo $B_e$.

$$d_m = \frac{A}{B_e}$$

Recordamos que, $A$: corresponde al área hidráulica de la sección, en m.

$\mu$: Coeficiente que toma en cuenta las contracciones laterales del flujo que se produce en las caras de los obstáculos que están dentro de la corriente, como por ejemplo las pilas de un puente. Es función de la velocidad media del flujo y del claro entre pilas. Se evalúa a partir de la expresión propuesta por Maza, teniendo en cuenta los datos proporcionados por Lischtvan – Lebediev. No tiene unidades.

$$\mu = 1 - \frac{0.387\ V_m}{L}$$

Cuando no hay obstáculos $\mu = 1$.

En la ecuación anterior, $V_m$ es la velocidad media del agua en la sección, en m/s. Está definida por:

$$V_m = \frac{Q_d}{A}$$

Estas ecuaciones deben aplicarse para varias líneas verticales de la sección del cruce. La profundidad en cada una de ellas es una función de la profundidad inicial $d_0$. Al unir todas las profundidades $d_s$ se tiene el perfil de la sección teórica erosionada.

De acuerdo al estudio de suelos que se presenta en el Anexo 4.1, nos encontramos ante un suelo no cohesivo específicamente estratos granulares tipo arenas y gravas limosa o arcillosas de origen aluvial y suelos residuales de esquistos de color negro y rocas esquistosas con presencia de cuarzos. Se realiza el cálculo de la socavación generalizada con un $D_{84} = 3/4"$, acorde a las recomendaciones dadas por la especialidad de geotecnia.

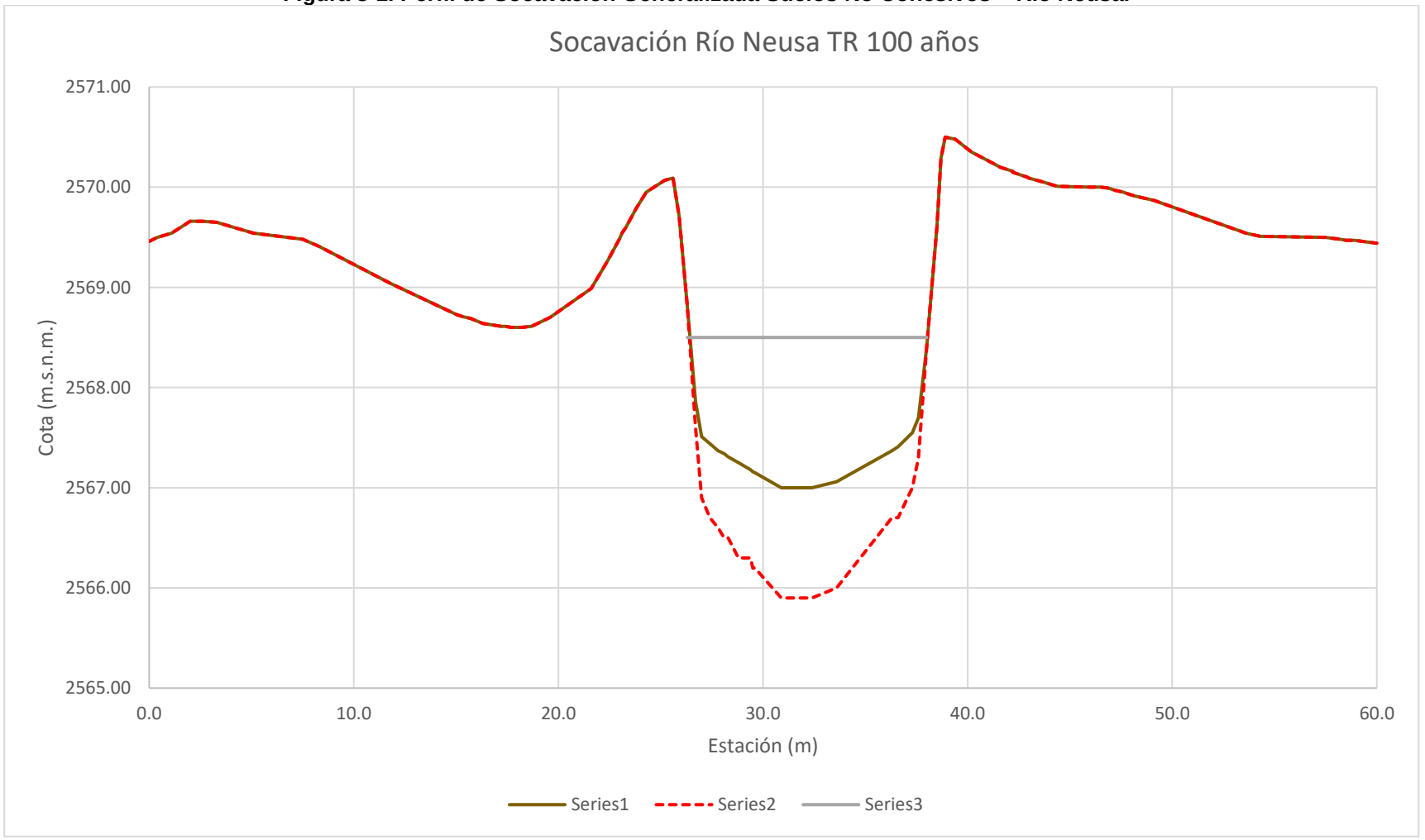
Con los anteriores datos y tomando la ecuación para suelos no cohesivos se procede a calcular la socavación generalizada para los tres cauces. Los resultados se presentan en la siguiente tabla y se dibuja el perfil de socavación que se presenta en la figura siguiente. Los resultados para los tres cauces se presentan de forma detallada en el anexo 4.2 Calculo Socavación.

**Tabla 24. Cálculo de la Socavación Generalizada Suelos No Cohesivos – Río Neusa.**

| No. ESTACIÓN | NOMBRE | ANCHO SUPERFICIAL (m) | LÁMINA DE AGUA $d_0$ (m) | ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL ($m^2$) | CAUDAL Qdiseño ($m^3/s$) | PERIODO DE RETORNO (años) | VELOCIDAD MEDIA (m/s) | ANCHO EFECTIVO DEL CAUCE Be (km) | LAMINA DE AGUA MEDIA dm (m) | $D_{84}$ (m) | β | CLARO ENTRE OBSTACULOS L (m) | μ | α | SOCAVACIÓN TEÓRICA ds (m) | SOCAVACIÓN TEÓRICA ds (m) | SOCAVACIÓN ADOPTADA ds (m) | SOCAVACIÓN MÁXIMA GENERALIZADA ds (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33 | Río Neusa | 11.61 | 0.64 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 0.92686 | 0.93 | 0.90 | 0.26 |
| 34 | Río Neusa | 11.61 | 0.99 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 1.60707 | 1.61 | 1.60 | 0.61 |
| 35 | Río Neusa | 11.61 | 1.06 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 1.75174 | 1.75 | 1.80 | 0.74 |
| 36 | Río Neusa | 11.61 | 1.13 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 1.89893 | 1.90 | 1.90 | 0.77 |
| 37 | Río Neusa | 11.61 | 1.16 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 1.96275 | 1.96 | 2.00 | 0.84 |
| 38 | Río Neusa | 11.61 | 1.19 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 2.02701 | 2.03 | 2.00 | 0.81 |
| 39 | Río Neusa | 11.61 | 1.25 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 11.61 | 0.90 | 2.93 | 2.15679 | 2.16 | 2.20 | 0.95 |
| 40 | Río Neusa | 11.61 | 1.32 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.24317 | 2.24 | 2.20 | 0.88 |
| 41 | Río Neusa | 11.61 | 1.34 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.28614 | 2.29 | 2.30 | 0.96 |
| 42 | Río Neusa | 11.61 | 1.35 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.30768 | 2.31 | 2.30 | 0.95 |
| 43 | Río Neusa | 11.61 | 1.50 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.63576 | 2.64 | 2.60 | 1.10 |
| 44 | Río Neusa | 11.61 | 1.50 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.63576 | 2.64 | 2.60 | 1.10 |
| 45 | Río Neusa | 11.61 | 1.50 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.63576 | 2.64 | 2.60 | 1.10 |
| 46 | Río Neusa | 11.61 | 1.50 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.63576 | 2.64 | 2.60 | 1.10 |
| 47 | Río Neusa | 11.61 | 1.44 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 2.50345 | 2.50 | 2.50 | 1.06 |
| 48 | Río Neusa | 11.61 | 1.13 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 1.84378 | 1.84 | 1.80 | 0.67 |
| 49 | Río Neusa | 11.61 | 1.09 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 1.76182 | 1.76 | 1.80 | 0.71 |
| 50 | Río Neusa | 11.61 | 0.95 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 1.48128 | 1.48 | 1.50 | 0.55 |
| 51 | Río Neusa | 11.61 | 0.80 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 1.19255 | 1.19 | 1.20 | 0.40 |
| 52 | Río Neusa | 11.61 | 0.10 | 14.19 | 42.82 | 100 | 3.02 | 11.61 | 1.22 | 0.01905 | 0.9947 | 18.00 | 0.94 | 2.82 | 0.08652 | 0.09 | 0.10 | 0.00 |

***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 8-1. Perfil de Socavación Generalizada Suelos No Cohesivos – Río Neusa.**




***Elaboró: 19-46 S.A.S.**
***Fuente: Elaboración propia.**

# 9. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del informe de estudio hidrológico, hidráulico y socavación de crecientes en la zona de proyecto específicamente en el punto donde se proyecta la construcción de la tubería de conducción de agua potable, que cruza los cauces: Río Neusa (Latitud 5°5'0.043"N, Longitud 73°56'4.11"W), Acequia La Toma (Latitud 5°3'41.86"N, Longitud 73°55'8.694"W) y Río Checua (Latitud 5°3'41.729"N, Longitud 73°55'8.3"W) con la finalidad de transportar el caudal correspondiente desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable Regional hasta el sistema de almacenamiento Perico en el municipio de Nemocón Cundinamarca.

- ✓ Para las cuencas hidrográficas, los caudales máximos instantáneos teóricos de escorrentía superficial producidos por sus respectivas áreas de drenaje se han calculado con base al Método del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, a los cuales se les especifico el hietograma de lluvia efectiva de diseño.

- ✓ Con base a la información secundaria recopilada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiental, IDEAM. Se identifican las estaciones aferentes a la zona de proyecto y se identifican las estaciones medidoras de precipitación que tienen influencia en la cuenca hidrográfica de estudio.

- ✓ Al realizar el trazado de los polígonos de Thiessen se observa que las cuencas hidrográficas se encuentran influenciadas por 17 estaciones en total.

- ✓ Para la definición de lluvia de diseño para la cuenca, se empleó un análisis de distribución espacial de la lluvia empleando polígonos de Thiessen y el factor de reducción de lluvia, tal y como fue descrito en el numeral 6.5.6

- ✓ Para la definición del tiempo de concentración en la cuenca hidrográfica se empleó la media de los tiempos de concentración teóricos calculados con las fórmulas teóricas presentadas.

| NOMBRE | TC SELEC (minutos) | T Lag (minutos) |
|---|---|---|
| Cuenca Río Neusa | 118.42 | 71.049 |

- ✓ El curva número CN se definió a partir del análisis de coberturas de suelo presente en la zona y en la cuenca hidrográfica para ello se implementa la metodología Corine Land Cover Colombia (CLC), descrita en el numeral 6.5.7 Con el análisis mencionado, se determinó el curva número y la abstracción inicial de la cuenca.

| CUENCA | FACTOR S | | ABSTRACIÓN INICIAL (mm) |
|---|---|---|---|
| | (in) | (mm) | |
| **Cuenca Río Neusa** | 2.86 | 72.62 | 14.523487 |

- ✓ Mediante la aplicación del modelo de computador HEC-HMS, y con las características de la lluvia total espacial, de la curva CN, el área de drenaje y del tiempo de rezago para la cuenca hidrográfica analizada, se calcularon las crecientes de diseño aferentes a la corriente producida por la cuenca, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años. Encontrando como resultado los siguientes caudales:

| NOMBRE | ÁREA ($km^2$) | LONGITUD DEL CAUCE (km) | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SELECCIONADO (min) | CN | FACTOR DE REDUCCIÓN POR LLUVIA ESPACIAL ADOPTADO | CAUDAL ($m^3/s$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | T= 2 AÑOS | T= 5 AÑOS | T= 10 AÑOS | T= 25 AÑOS | T= 50 AÑOS | T= 100 AÑOS |
| **Cuenca Río Neusa** | 26.928 | 10.563 | 118.415 | 77.7 | 0.8125 | 7.847 | 13.80 | 20.07 | 31.50 | 42.82 | 56.89 |

- ✓ Con la aplicación del modelo computacional HEC-RAS se llevaron a cabo los cálculos hidráulicos para las corrientes objeto de estudio, teniendo en cuenta los levantamientos topográficos recibidos por está consultoría. Se ha definido un coeficiente de rugosidad de Manning igual a 0.05 para el cuerpo de agua en análisis.

- ✓ Para el cálculo de la socavación generalizada para suelos no cohesivos, se empleó el tamaño de partícula $D_{84} = 3/4"$, conforme a lo indicado por la especialidad de geotecnia.

- ✓ De acuerdo con el perfil de socavación calculado, se puede apreciar que, para un periodo de retorno de 100 años, se presenta valores de socavación en el fondo del cauce, sin embargo, la lámina de agua no llega a afectar las estructuras proyectadas

# 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- ✓ Breinl, K., Lun, D., Müller-Thomy, H., & Blöschl, G. (2021). Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity duration frequency analysis. Journal of Hydrology 602.
- ✓ Chow, V. T. (1984). Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Company.
- ✓ Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1988). Applied Hydrology. (C. E. Series, Ed.) New York, USA: McGraw-Hill International Editions.
- ✓ Codensa, E. (02 de 2022). https://www.enel.com.co/es/prensa/banco-de-imagenes/plantasde-generacion.html.Obtenido de https://www.enel.com.co/es/prensa/banco-deimagenes/plantas-de-generacion.html
- ✓ Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (s.f.). Screening of hydrological data: Tests for stationarity and . 1990: Wageningen: International Institute for land reclamation and.
- ✓ Enel Codensa. (2011). Manejo de Embalses en la Segunda Temporada de lluvias 2011. Manejo de Embalses en la Segunda Temporada de lluvias 2011. Bogotá, Colombia.
- ✓ Escobar, J. L., Gaviria, A., & Molina, A. (1987). Evaluación y aplicación de la teoría del Hidrograma Unitario Geomorfoclimático a la cuenca de la quebrada Piedras Blancas. (A. J. Delgado, Ed.)
- ✓ Guajardo-Panes, R., Granados-Ramírez, G., & Sánchez-Cohen, I. (2017). Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México. Tecnología y Ciencias del Agua, 157-177.
- ✓ Huff, F. A. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. IWSC 1973.
- ✓ Huff, F. A. (1990). Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. ILLINOIS STATE WATER SURVEY, ISWS/CIR-173/90.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (s.f.). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.
- ✓ Monsalve Sáenz, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ✓ Ortiz Vera, O. (2004). EVALUACION HIDROLÓGICA. HIDRORED, 2-7.
- ✓ Pizarro, H., Wilches, S., & Alzate, C. (2014). Estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá. Medellín: Empresas Públicas de Medellín, E.S.P.
- ✓ Ponce, V. M. (1989). Engineering Hydrology, Principles and Practices. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- ✓ Remeneiras, G. (1974). Tratado de Hidrología Aplicada. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados S.A.
- ✓ Vargas M, R., & Díaz-Granados, M. (1998). Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- ✓ Viglione, A., & Blöschl, G. (2008). On the role of storm duration in the mapping of rainfall to flood return periods. Hydrology and Earth System Sciences, 3420-3447.
- ✓ Wijngaard, J., Klein Tank, A., & Konnen, G. (s.f.). Homogeneity of the 20th century european daily temperature. 679–692. International Journal of Climatology

# 11. ANEXOS

## ANEXO 1. INFORMACIÓN RECOPILADA

1.1 IDEAM
1.2 IGAC

## ANEXO 2. HIDROLOGÍA

2.1 Modelo HEC-HMS
2.2 Memorias de Cálculo
- 2.2.1 Estaciones Pluviométricas
- 2.2.2 Caja y Bigotes (Box Plot) – Pmax
- 2.2.3 Curvas IDF
- 2.2.4 Curvas de Masas
- 2.2.5 Incrementos de Precipitación
- 2.2.6 Hietogramas Puntuales
- 2.2.7 Calculo Morfometría Cuencas
- 2.2.8 Características y Tiempo de Concentración
- 2.2.9 Factor de Reducción
- 2.2.10 Hietogramas Espaciales
- 2.2.11 Tabla Características Cuencas
- 2.2.12 Factores CN
- 2.2.13 Caudales Máximos HEC-HMS

## ANEXO 3. HIDRÁULICA

3.1 Topografía
3.2 Modelo HEC-RAS Neusa

## ANEXO 4. SOCAVACIÓN

4.1 Estudio de suelos
4.2 Calculo Socavación