

Diseño de estrategia de apoyo técnico a municipios para incluir la información de sus redes viales en el Sistema Integrado Nacional de Información de Carreteras – SINC, incorporando tres nuevas variables asociadas al drenaje vial



María Camila Chitiva Reyes

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Tutor:

Ing. Diego Correal Medina

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., MAYO 2019**

El mayor estímulo para esforzarnos en el estudio y en la vida es el placer del mismo trabajo, el placer de los resultados y la conciencia del valor de los resultados para esa comunidad.

Albert Einstein

Agradecimientos

La elaboración del presente trabajo de grado ha sido una experiencia muy enriquecedora para mi formación como ingeniera civil. Las personas que me acompañaron y dirigieron durante este proceso académico permanecerán en mi memoria durante el viaje que estoy por emprender.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la oportunidad de culminar uno de mis más grandes sueños, por darme la fortaleza y confianza para enfrentar los retos, por guiarme siempre por el camino correcto, y por cruzarme con personas increíbles y talentosas durante mi carrera universitaria.

Mi más sincera gratitud a mi director, Ing. Diego Correal Medina, por su apoyo y enseñanza durante este proceso de aprendizaje. De igual manera, a la Ing. Yulia Ivanova, por la confianza y conocimiento ofrecido. Les doy gracias por su honra y por su cálida forma de enseñar y ofrecer opiniones y críticas de carácter constructivo, las cuales me fortalecieron día a día y me ayudaron a avanzar y profundizar más sobre mis habilidades para mi futuro profesional.

Quiero agradecer a Adriana Rincón, topógrafa en la Universidad Militar Nueva Granada, por brindarnos su conocimiento y tiempo durante el levantamiento de la información requerida para el presente trabajo. Igualmente, a mi compañero Bryan Pérez Roncancio, con quien compartimos esta experiencia y nos apoyamos para lograr los objetivos planteados.

Mis más grandes agradecimientos están reservados para mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida. Agradezco las palabras de motivación de mi madre, que sin duda me han ayudado a mirar el lado positivo de las dificultades y a disfrutar

de los resultados. Agradezco a mi padre por su ejemplo de persistencia y carácter ante las diferentes circunstancias, por enseñarme y enfocarme a luchar por lo que quiero y a enfrentar las adversidades no solo de manera racional sino espiritual. Agradezco a mi hermana por enseñarme y motivarme cada día a querer “comerme el mundo”, por darme los mejores consejos y por ser el ejemplo personal y profesional que aspiro ser. Soy la persona más afortunada porque la vida me regalo estos tres grandes seres humanos, quienes me reconstruyen con un abrazo y me quieren sobre todas las cosas.

Finalmente, estos agradecimientos no estarían completos sin pensar en todo el apoyo brindado por mi gran amigo y futuro ingeniero civil Juan Diego Vargas, quien siempre busca la forma de entender mis problemas y de hacerme sonreír cuando más lo necesito. Es una bendición encontrar, durante mi desarrollo académico, una persona tan carismática, llena de amor y entregada a sus pasiones.

Resumen

La infraestructura vial es uno de los sectores con mayor importancia en Colombia debido al desarrollo económico y social que le aporta al país, por lo tanto, en el 2008 se dio inicio a un sistema conocido como “SINC” donde las diferentes entidades deben reportar el estado, extensión, ubicación y demás condiciones de su red vial. El presente trabajo de grado evaluó las dificultades que presentan las entidades territoriales para realizar el correspondiente inventario de sus carreteras, y por esta razón, se desarrolló una metodología mediante un registro realizado en Nemocón – Cundinamarca, con la cual los municipios puedan realizar el levantamiento topográfico de sus vías y la consolidación de una base de datos de manera ágil y sencilla. Por otro lado, se sugirió realizar el análisis del comportamiento pluviométrico de la zona en cuestión para considerar la capacidad de las obras de drenaje vial, a pesar de que estas estructuras hidráulicas no se evidencien frecuentemente en las vías terciarias del país. En conclusión, la estrategia planteada pretende brindar a los municipios de Colombia una práctica eficiente y económica, para que puedan dar cumplimiento a los requerimientos exigidos por el Ministerio de Transporte, y, así mismo, estandarizar y sistematizar la información de oferta y demanda de su red vial, de tal modo que facilite la toma de decisiones en cuanto a inversión e intervención.

Palabras clave: SINC, hidrología, SIG, levantamiento, vías terciarias, obras de drenaje, precipitación.

Abstract

Road infrastructure is one of the most important sectors in Colombia due to the economic and social development it brings to the country, therefore, in 2008 a system known as "SINC" was launched, where the different entities must report the state, extension, location and other conditions of its road network. The present work of degree evaluated the difficulties that the territorial entities present to realize the corresponding inventory of their highways, and for this reason, a methodology was developed by means of a registry realized in "Nemocón – Cundinamarca", with which the municipalities can realize the topographic survey of its routes and the consolidation of a database in an agile and simple way. On the other hand, it was suggested to carry out the analysis of the pluviometry behavior of the area in question to consider the capacity of the road drainage elements, even though these hydraulic structures are not frequently evident in the tertiary roads of the country. In conclusion, the proposed strategy aims to provide the municipalities of Colombia with an efficient and economical practice, so that they can comply with the requirements demanded by the Ministry of Transportation, and, likewise, standardize and systematize the supply and demand information of their road network, in such a way that it facilitates decision-making regarding investment and intervention.

Keywords: SINC, hydrology, GIS, topographic survey, tertiary roads, drainage elements, precipitation.

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Abstract	XII
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	1
Introducción	2
Objetivos	4
1. Marco teórico	5
1.1 Marco referencial	5
1.1.1 Mejoramiento de vías terciarias.....	5
1.1.2 Implementación del Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC)	6
1.1.3 Aplicación de la hidrología	6
1.1.4 Control de aguas superficiales mediante sistemas de drenaje	7
1.2 Marco conceptual	8
1.2.1 Infraestructura vial.....	8
1.2.2 Vías de tercer orden.....	8
1.2.3 Drenaje vial superficial	8
1.2.4 Delimitación de cuencas hidrográficas	8
1.2.5 Curvas IDF	9
1.2.6 Sistemas de Información Geográfica.....	9
1.3 Marco histórico	9
1.4 Marco ambiental	10
2. Generalidades del SINC	11
2.1 Plataforma	11
2.2 Capas geográficas para reportar	13
3. Metodología	15
3.1 Levantamiento del tramo vial	15
3.1.1 Localización y asignación de código vial	15
3.1.2 Equipos y recursos.....	17

3.1.3	Descripción general	19
3.2	Creación de la base de datos	19
3.2.1	Exportación de datos.....	19
3.2.2	Procesamiento de la información	20
3.3	Determinación de caudales	23
3.3.1	Cuenca hidrográfica	23
3.3.2	Parámetros morfométricos	24
3.3.3	Información hidrometeorológica de la zona	26
3.3.4	Curvas IDF	31
3.3.5	Caudal máximo	33
4.	Resultados y análisis	35
4.1.1	Levantamiento de la vía a Patio Bonito en Nemocón	35
4.1.2	Capas geográficas de la vía 25-486-VT10	40
4.1.3	Cuenca hidrográfica	50
4.1.4	Curvas IDF	54
4.1.5	Caudal máximo	57
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones	64
	Bibliografía	66

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Plataforma del SINC [16].....	12
Figura 2-2: Departamentos con inventario vial [16].....	12
Figura 2-3: Municipios con inventarios viales [16].....	12
Figura 2-4: Avance de inventarios viales [16]	13
Figura 3-1: Red vial terciaria de Nemocón.....	16
Figura 3-2: Vía 25-486-VT10 en Nemocón	17
Figura 3-3: Equipo topográfico GNSS R8S [17].....	18
Figura 3-4: Colector TSC3 [18].....	18
Figura 3-5: Elementos auxiliares	18
Figura 3-6: Elementos de protección personal	18
Figura 3-7: Crear Nuevo Shapefile en ArcMAP 10.5.1.....	20
Figura 3-8: DEM de 30 m de Nemocón, Cundinamarca [19].....	24
Figura 3-9: Tabla de contenido en ArcMap 10.5.1	25
Figura 3-10: Visor de datos hidrometeorológicos en Colombia [20]	26
Figura 3-11: Características de estación ACANDY [20].....	27
Figura 3-12: Resultados para la Región Andina (R1) [24].....	31
Figura 3-13: Región de ubicación de las estaciones [24].....	32
Figura 3-14: Número de curva de escorrentía para usos de tierra [25]	34
Figura 3-15: Hidrograma de escurrimiento - Método SCS [26]	34
Figura 4-1: Ubicación de la estación a lo largo del tramo vial	35
Figura 4-2: Capa geográfica EJES	40
Figura 4-3: Tabla de atributos capa EJES	41
Figura 4-4: Capa geográfica FOTOEJE.....	41
Figura 4-5: Tabla de atributos capa FOTOEJE.....	42
Figura 4-6: Inicio de la vía - K0+000.....	43
Figura 4-7: Puente Chucua - K0+919	43
Figura 4-8: Hundimiento en la vía – K2+574.....	43
Figura 4-9: Cambio de pendiente en la vía – K4+709.....	43
Figura 4-10: Final de la vía - K5+744.....	43
Figura 4-11: Capa geográfica PRS.....	44
Figura 4-12: Tabla de atributos capa PRS.....	44
Figura 4-13: Primer registro en capa geográfica PROPIEDADES	45
Figura 4-14: Segundo registro en capa geográfica PROPIEDADES.....	45

Figura 4-15: Tercer registro en capa geográfica PROPIEDADES.....	45
Figura 4-16: Tabla de atributos capa PROPIEDADES.....	46
Figura 4-17: Capa geográfica PUENTES	47
Figura 4-18: Tabla de atributos capa PUENTES	47
Figura 4-19: Capa geográfica OBRASDRENAJE	48
Figura 4-20: Tabla de atributos capa OBRASDRENAJE	48
Figura 4-21: Obra de drenaje K2+010	49
Figura 4-22: Obra de drenaje K2+131	49
Figura 4-23: Obra de drenaje K2+739	49
Figura 4-24: Levantamiento de los elementos que conforman la vía a Patio Bonito	50
Figura 4-25: Delimitación de la cuenca.....	51
Figura 4-26: Parámetros morfométricos de la cuenca	51
Figura 4-27: Cauce principal de la cuenca.....	52
Figura 4-28: Perfil longitudinal del cauce principal.....	52
Figura 4-29: Parámetros morfométricos del cauce principal	52
Figura 4-30: Resultado final del análisis hidrológico en Nemocón	53
Figura 4-31: Curva sintética IDF para Nemocón aplicando ecuación 8.....	55
Figura 4-32: Curvas sintéticas IDF para Nemocón aplicando ecuación 9	55
Figura 4-33: Curvas sintéticas IDF para Nemocón aplicando ecuación 11	56
Figura 4-34: Periodo de retorno según el tipo de obra [5].....	57
Figura 4-35: Comparación de los bloques alternos obtenidos por cada ecuación.....	60
Figura 4-36: Hidrograma unitario aplicando ecuación 8.....	61
Figura 4-37: Hidrograma unitario aplicando ecuación 9.....	61
Figura 4-38: Hidrograma unitario aplicando ecuación 11	61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Capas geográficas para reportar al SINC [4].....	14
Tabla 3-1: Precipitaciones máximas en 24 horas en Nemocón [21].....	27
Tabla 3-2: Número de días con precipitación en Nemocón [22].....	28
Tabla 3-3: Precipitaciones totales mensuales en Nemocón [23].....	30
Tabla 3-4: Valor de las variables por cada ecuación para la Región Andina [24].....	33
Tabla 4-1: Registro 05/12/2018 de la vía a Patio Bonito	36
Tabla 4-2: Registro 18/12/2018 de la vía a Patio Bonito	38
Tabla 4-3: Valores de intensidad aplicando ecuación 8	54
Tabla 4-4: Valores de intensidad aplicando ecuación 9	55
Tabla 4-5: Valores de intensidad aplicando ecuación 11	56
Tabla 4-6: Bloque alterno aplicando ecuación 8.....	57
Tabla 4-7: Bloque alterno aplicando ecuación 9.....	58
Tabla 4-8: Bloque alterno aplicando ecuación 11.....	59

Introducción

El territorio colombiano está comunicado por más de 200.000 kilómetros de carreteras de primer, segundo y tercer orden que diariamente se encuentran sujetos a un “desgaste infinitesimal” por la acción combinada de cargas del tránsito y factores ambientales. La efectiva conservación de esta red vial será un resultado de la consolidación de una nueva iniciativa de gestión que la Ley 1228 de 2008 estableció como el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC). Esta técnica, consiste en un sistema público de información única nacional con el cual se obliga a reportar el estado y las condiciones en que se encuentran cada una de las carreteras a cargo de la Nación, los departamentos, los municipios y los distritos especiales. La información alfanumérica georreferenciada por cada vía que se reporta en dicho sistema constituirá la base para una adecuada gestión vial que, en consecuencia, permitirá proyectar con mayor efectividad, inversiones viales sostenibles en el tiempo.

El proceso de alimentación del SINC inició desde el año 2013, por medio de la Resolución 1860, donde se estableció la administración del sistema por parte del Ministerio de Transporte, quien adoptó la “Metodología General para reportar la Información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras” para que las entidades nacionales y territoriales incorporen la información de su red vial al sistema. Desde entonces, el Ministerio de Transporte ha expedido cuatro resoluciones de acuerdo con una metodología específica requerida por el SINC y con unos plazos que por el momento se encuentran extendidos hasta el 31 de diciembre del 2019 (última resolución No. 1321 del 30 de abril del 2018).

Unas de las razones por las cuales se extendieron los plazos de entrega y simplificaron los aspectos estructurales de las capas y características geográficas de los elementos, son las dificultades técnicas, operativas y económicas para la obtención y diligenciamiento de

la información por parte de las entidades territoriales, lo cual se evidencia mediante los resultados publicados a comienzos del 2019 en el Portal Web del Ministerio de Transporte, donde solo 54 de 1122 municipios de Colombia han obtenido la caracterización completa de sus redes viales.

Actualmente, los parámetros para estructurar la información vial al SINC se encuentran sujetos a lo estipulado en la Resolución 1321 del 30 de abril de 2018. En esta tercera versión, el Ministerio de Transporte anexó entre los elementos por reportar, las obras de drenaje, teniendo en cuenta la importancia de captar, conducir y evacuar las aguas superficiales para mantener el comportamiento óptimo de la vía y, en consecuencia, garantizar la vida útil del pavimento. Por lo tanto, es un parámetro clave en la red vial terciaria del territorio colombiano, puesto que la mayoría de estas vías no poseen dichas estructuras hidráulicas o se encuentran en mal estado, lo cual genera problemas de seguridad y serviciabilidad sobre la superficie vial, sobre todo cuando se registra la temporada de lluvias característica del país; época en la que los ríos se desbordan, los taludes se erosionan y deslizan, o la banca de la vía sufre pérdidas de material.

Por consiguiente, el presente trabajo de grado pretende formular una estrategia y su “modus operandi” a partir de un proyecto base realizado en Nemocón – Cundinamarca, que permita a la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) capacitar y apoyar a gestores locales en el proceso del levantamiento y sistematización de la información de su red vial, que en efecto, a mediano plazo, podrá generar un impacto positivo en el desarrollo económico del municipio y por ende en la calidad de vida de sus habitantes.

Objetivos

Objetivo general

Apoyar el levantamiento y procesar la información del tramo de carretera terciaria que conduce al sitio poblado "Patio Bonito" en el municipio de Nemocón, Cundinamarca. Lo anterior, de acuerdo con la metodología consignada en la Resolución 1321 de 2018 del Ministerio de Transporte.

Objetivos específicos

- ❖ Apoyar la evaluación de las condiciones en que se encuentre la vía según la información que determina el Ministerio de Transporte.
- ❖ Realizar el levantamiento correspondiente mediante el Sistema Trimble geodésico y topográfico R8S, equipo especificado para el proyecto y propiedad de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), y conforme lo estipulado en la "Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de información de Carreteras – SINC".
- ❖ Generar las capas geográficas en formato ESRI Shapefile (SHP) de los elementos obtenidos en el levantamiento para finalmente, sistematizar la información SINC para su posterior suministro por parte del municipio.
- ❖ Consolidar una base de datos con la información alfanumérica georreferenciada obtenida en el levantamiento mediante la aplicación del software ArcGIS 10.5.1.
- ❖ A partir de información climatológica de la región, evaluar la condición hidrológica y morfometría de la cuenca atravesada por el tramo vial.
- ❖ Apoyar la estructuración del "modus operandi" que permita a los municipios de Colombia incorporar la información de su red vial en el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras "SINC" de manera ágil y sencilla.

1.Marco teórico

En este capítulo se realiza una breve descripción de los conceptos técnicos e hidrológicos que se plantean a lo largo del documento, permitiendo una mejor comprensión de la metodología implementada en el SINC y de los diferentes factores a los que generalmente se encuentran sometidas las vías terciarias del territorio colombiano. Para ello, se elabora un marco referencial, conceptual, histórico y ambiental que permita al lector abordar con profundidad el desarrollo del presente trabajo de grado.

1.1 Marco referencial

1.1.1 Mejoramiento de vías terciarias

Según plantean las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018, la gran apuesta para el avance del campo y la consolidación de la paz dentro del territorio colombiano a nivel de infraestructura son las vías terciarias, las cuales se ejecutan en las zonas más vulnerables del país y generan mayor impacto en las economías locales [1]. El mal estado de estas vías es una de las dificultades que, actualmente, sigue afectando el desarrollo económico y social del país debido a que dificulta la conexión entre la población rural de las entidades territoriales (municipios, distritos o departamentos). En muchos casos, estas vías son intransitables, presentan restricciones de tránsito o deficiente mantenimiento y atención de los puntos críticos [1]. Este último a su vez, contribuye al desgaste constante de la capa de rodadura y/o de la estructura de pavimento en general, dando lugar a congestiones en las vías por pasos restringidos, aumento de los tiempos de viaje y baja comercialización de productos del municipio [1]. En consideración a los “lineamientos de política para la gestión de la red terciaria”, el Ministerio de Transporte da lugar a un sistema de información único nacional, con el cual sea posible actualizar y elaborar los inventarios

correspondientes de dicha red vial y, así mismo, facilitar la toma de decisiones con respecto a la oferta y demanda de la infraestructura vial del país [2].

1.1.2 Implementación del Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC)

A partir de la Ley 1228 de 2008, el Ministerio de Transporte se estableció administrador del SINC, un sistema público de información único nacional [3]. En este sistema se deben registrar las vías a las que el Ministerio o entes territoriales les haya adelantado el inventario vial según: categoría, ubicación, especificaciones, extensión, puentes, túneles, estado, entre otra información que el administrador considere, conforme a lo estipulado en la “Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de información de Carreteras” [4].

Por lo tanto, para el desarrollo de la política y gestión vial de Colombia, se considera de gran importancia que todas las entidades territoriales implementen y alimenten el SINC, debido a que, primero, es un instrumento de fácil acceso al sector de infraestructura, y segundo, brinda las herramientas suficientes para que los diferentes actores del sector puedan evidenciar la evolución y crecimiento de la malla vial en el país y, en consecuencia, ejercer con mayor eficacia actividades de control y planificación [4].

1.1.3 Aplicación de la hidrología

Dentro de los cinco países más húmedos del planeta se encuentra Colombia, debido a su gran riqueza hídrica reflejada en sus precipitaciones superiores a 2000 mm/año en la mayoría del territorio [5]. Por lo tanto, las carreteras que conforman la red vial del país se ven frecuentemente afectadas por la acción de aguas lluvias a nivel de serviciabilidad y seguridad. Así mismo, al contar con un territorio montañoso donde intervienen numerosos cursos de agua, el agua subterránea afecta la estabilidad de los taludes y debilita las capas que conforman los pavimentos [5]. Para ello, es indispensable el diseño y construcción de sistemas de drenaje mediante el análisis de las condiciones hidrológicas de la zona, es decir, las precipitaciones y su respectiva intensidad, duración y frecuencia, la presencia de cuerpos de agua cerca de la región de estudio, entre otras variables relacionadas, para

obtener óptimos resultados en términos de eficiencia, calidad de operación y vida útil de las carreteras.

De igual manera, en el Manual de Drenaje para Carreteras se enuncia que, para garantizar un funcionamiento ideal de los sistemas de drenaje vial y la conservación y prolongación de la vida útil de las carreteras, se debe realizar un análisis hidrológico e hidráulico ya que, generalmente, estos proyectos discurren en las proximidades de los cauces de los ríos [5]. Para ello, se requiere información de calidad obtenida de diferentes institutos como, IDEAM, IGAC e INVIAS, con la cual se establezcan los criterios y métodos necesarios para los correspondientes estudios (hidrológico, hidráulico y de socavación) de un proyecto vial. Como resultado de lo anterior, se establecen las dimensiones de los sistemas de drenaje vial con las cuales se capte la demanda de aguas superficiales y subsuperficiales, según sea el caso, para lograr un alto nivel de serviciabilidad y seguridad de las carreteras durante el periodo de diseño.

1.1.4 Control de aguas superficiales mediante sistemas de drenaje

El exceso de agua en los suelos y en las estructuras de pavimento de una carretera afecta considerablemente las propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de agua, presiones hidrostáticas, subpresiones de flujo que, en consecuencia, inducen los cambios volumétricos del material [6]. Para evitar el deterioro de la infraestructura vial, se deben manejar dichos fluidos mediante un eficiente sistema de drenaje, teniendo en cuenta los procesos de captación, conducción y evacuación, lo cual se considera clave para controlar la erosión de los taludes y garantizar la seguridad de los usuarios que transitan por las vías [6]. En el caso de los sistemas de drenaje superficial, los daños más frecuentes debido a la presencia de agua se pueden determinar e inspeccionar de manera visual ya que por lo general, producen erosión en los taludes e inestabilidad en la banca de la vía. Dichas obras de drenaje superficial actúan directamente sobre la carretera, ya sea longitudinal o transversalmente dependiendo su posición con respecto al eje de la vía. Como se menciona en el Manual para la Inspección Visual de Estructuras de Drenaje, el drenaje longitudinal capta el agua evitando que llegue a la vía o permanezca en ella, y el drenaje transversal le da paso al agua que cruza perpendicularmente el eje de la vía [5].

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Infraestructura vial

Según Urrutia (2015), “*La infraestructura vial es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro*” [7]. La infraestructura vial es uno de los principales factores que generan la competitividad de un país o una región. La diversidad de modos de transporte y la calidad de carreteras y ferrovías impulsa la circulación de todos los productos que mueven la economía, y se generan mayores utilidades ya que entre mejor infraestructura vial se posee, se demandarán menores costos por transporte [7].

1.2.2 Vías de tercer orden

De acuerdo con la Resolución 1322 de 2017, las vías de tercer orden son las vías que comunican dos o más veredas de un municipio o con una vía de segundo orden. Estas se caracterizan por presentar un volumen menor a 150 vehículos por día, servir a una población de cabecera inferior a 15.000 habitantes y estar conformadas por un ancho de calzada menor o igual a 6 metros [8].

1.2.3 Drenaje vial superficial

El drenaje superficial son todas las estructuras hidráulicas que permiten la evacuación de líquidos pluviales o de otro tipo, ubicados sobre una superficie. Dentro del drenaje superficial se abarcan estructuras como cunetas, zanjas de coronación, zanjas en pie, alcantarillas, puentes y obras complementarias [5].

1.2.4 Delimitación de cuencas hidrográficas

Las cuencas son sistemas de drenaje natural, las cuales, a través de las precipitaciones reciben materia de la atmósfera y la descargan a través de caudales que viajan por líneas de flujo definidas por la topografía del terreno [9]. Tales líneas, conocidas como red de

drenaje, permiten definir la dirección y acumulación del flujo y, en consecuencia, realizar la delimitación de la cuenca en estudio con base en un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés).

1.2.5 Curvas IDF

Las curvas IDF, también llamadas curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, son curvas que relacionan la intensidad y duración de los eventos de precipitación en una zona determinada para diferentes periodos de retorno [10]. La importancia de las curvas IDF radica en que, a partir del procesamiento de registros históricos de estaciones hidroclimatológicas, describen el comportamiento típico de las precipitaciones en la zona de estudio y sirven para dimensionar estructuras de drenaje funcionales para los caudales generados en las precipitaciones [11] [12].

1.2.6 Sistemas de Información Geográfica

Según el Centro Nacional de Información Geográfica y Análisis (2009), los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un conjunto de hardware, software y procedimientos elaborados espacialmente referenciados, que resuelven problemas complejos de planificación y gestión. Esta clase de sistemas cuentan con puntos, líneas y polígonos, que representan visual y cartográficamente distintos elementos, facilitando las consultas que involucran componentes geográficos [4].

1.3 Marco histórico

La mayoría de los tramos viales en Colombia siguen el camino que en algún momento de la época de la colonia fueron trazados por los indígenas que habitaban el territorio para desplazarse y transportar recursos [13]. Hoy en día, se evidencia como las carreteras obedecen la topografía característica del territorio colombiano, alternando valles, ríos y cordilleras que obligan a buscar los puntos más accesibles y con menor dificultad de construcción [13].

Con el paso de los años y cambios de gobierno, se fueron desarrollando diferentes planes para la infraestructura vial de Colombia, es decir, se comenzaron a construir nuevas redes de transporte y se mejoraron las carreteras existentes [14]. En 1960, con el inicio del Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV) la red vial del país tuvo un avance significativo debido al aporte financiero que se atribuyó a la construcción, conservación y mejoramiento de los caminos regionales y las vías locales [14]. En 1993, se creó la Ley 105 con la cual se entregaron los derechos de propiedad de gestión y operación de las vías terciarias a los entes territoriales (EE.TT) [14]. Sin embargo, debido a la problemática que representan las deficiencias técnicas y económicas de los EE.TT, desde 1983 hasta la actualidad, se han desarrollado planes de rehabilitación social y económica para brindar apoyo financiero, técnico y políticas de sostenibilidad y cuidado de las vías [14].

Adicionalmente, en el año 2008 se expidió la Ley 1228, dando lugar al Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC), con el fin de gestionar el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura vial del país, sin embargo, el aporte de la información por parte de los municipios ha sido escaso hasta la fecha. En consecuencia, la Resolución 1321 de 2018 obliga a las entidades responsables de tal proceso, reportar la información con término máximo del 31 de diciembre de 2019.

1.4 Marco ambiental

Generalmente, las vías son diseñadas de acuerdo con la intensidad y duración de las lluvias en la zona de emplazamiento. Es decir, todos los elementos de la infraestructura de la vía (terraplenes, taludes, pavimentos, obras de drenaje superficial y subsuperficial, etc.) deben diseñarse de tal forma que sirvan eficientemente en caso de inundación, evitando que los usuarios sufran traumas y/o los vehículos y estructuras aledañas sean destruidos.

Por lo tanto, el comportamiento de estas estructuras y sus elementos depende en gran porcentaje del análisis hidrológico e hidráulico de los flujos de agua que son atravesados por el tramo vial. En el caso de un diseño inadecuado, la acción de escorrentía aumenta la probabilidad de erosión en los taludes, lo cual produce desprendimiento y transporte de partículas del suelo que, finalmente, afecta la estabilidad del terreno [15].

2. Generalidades del SINC

El SINC es considerado como una herramienta clave para facilitar la gestión vial del país, por lo que en este capítulo se familiariza al lector con el contenido de dicha plataforma, es decir, con los avances de inventarios, fajas de retiro y entre otras cifras. Así mismo, se explica cómo está estructurado el sistema y qué requisitos generales se especifican en la Resolución 1321 del 2018 para almacenar la información geográfica de cada uno de los elementos que conforman la red vial.

2.1 Plataforma

Dentro de la Página Web oficial del Ministerio de Transporte, se encuentra la plataforma donde se deberá reportar, conforme con la Ley 1228 del 2008, toda la información de las carreteras que conforman el territorio colombiano. En la **Figura 2-1**, se observa que el SINC contiene un mapa de Colombia en el cual se enuncian cada uno de los proyectos concesionados y no concesionados o, a cargo de ANI, INVIAS o AEROCIVIL, y que se han llevado a cabo hasta el momento. De igual manera, se evidencian las fajas de retiro obligatorio, los avances de inventario a nivel nacional, departamental y municipal, los peajes nacionales, y las zonas susceptibles a riesgos ambientales y reservas forestales.

Así mismo, dentro de dicha plataforma se obtienen las cifras de cada uno de los elementos mencionados anteriormente. De esta manera, es posible conocer el número de municipios que han realizado el correspondiente reporte de su red vial y a cuántos les puede ser útil la metodología desarrollada en el presente documento para cumplir con las especificaciones de la Resolución 1321 del 2018 antes de finalizar el plazo de entrega.

Figura 2-1: Plataforma del SINC [16]

Fuente: Ministerio de Transporte “SINC”, 2019

Por lo tanto, como se evidencia en la **Figura 2-2**, sólo 11 departamentos de 33 que conforman el territorio colombiano han generado el reporte de algunas de sus carreteras. Sin embargo, en la **Figura 2-3**, se ilustra específicamente que, solo 54 de 1122 municipios han cumplido el objetivo.

Figura 2-2: Departamentos con inventario vial [16]

Fuente: Ministerio de Transporte “SINC”, 2019

Figura 2-3: Municipios con inventarios viales [16]

Fuente: Ministerio de Transporte “SINC”, 2019

De igual manera, el SINC consta de un mapa de Colombia donde se representan visual y cartográficamente los elementos que las entidades territoriales han reportado. En la **Figura 2-4**, se identifican a partir de líneas y puntos, los inventarios de carreteras realizados por la Nación, los departamentos y municipios, según corresponda. Por lo tanto, se evidencia que gran parte de los inventarios viales registrados hasta el momento se ubican al centro-oriente del país.

Figura 2-4: Avance de inventarios viales [16]



Fuente: Ministerio de Transporte “SINC”, 2019

Finalmente, en la parte inferior de la pantalla ilustrada en la figura anterior (**Figura 2-4**), la plataforma del SINC dispone de varias herramientas que permiten conocer las cifras discriminadas por Nación, departamentos y municipios. Así mismo, consta de una barra despegable en la que se encuentran 3 documentos para descargar, los cuales hacen referencia a las especificaciones de las capas geográficas a reportar en el sistema, permitiendo a las entidades profundizar sobre el objetivo y manejo de esta alternativa.

2.2 Capas geográficas para reportar

El SINC está estructurado en un tipo de base de datos conocido como “geodatabase”, cuya información geográfica se almacena a partir de archivos consistentes en formato ESRI

Shapefile (SHP) los cuales deben garantizar su correcto funcionamiento. En la **Tabla 2-1**, se mencionan los elementos que se deben reportar según la metodología del SINC:

Tabla 2-1: Capas geográficas para reportar al SINC [4]

Elemento	Nombre de los archivos SHP
Ejes de las vías	EJES
Foto de la vía	FOTOEJE
Puntos de referencia lineal	PRS
Propiedad de las vías	PROPIEDADES
Puentes	PUENTES
Muros	MUROS
Túneles	TUNELES
Sitios críticos de inestabilidad	SITIOSCRITICOS
Obras de drenaje	OBRASDRENAJE

Fuente: Adaptación propia. “Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de información de Carreteras – SINC”, 2018

Adicionalmente, cada archivo debe contener la información geográfica y alfanumérica que definan los atributos de los elementos encontrados en el tramo vial en cuestión, los cuales deben cumplir con las condiciones establecidas en la metodología y se deben representar mediante un campo en la capa geográfica asociada.

Los elementos que definen las diferentes características de la vía pueden ser representados a partir de un punto, polilínea o polígono, lo que significa que:

- **Punto:** Posee una ubicación definida por Longitud, Latitud y Altitud.
- **Polilínea:** Es una secuencia de puntos que conforman elementos lineales con diferentes formas.
- **Polígono:** Representa elementos en forma de área.

Finalmente, es fundamental que estos archivos se estructuren en un mismo Sistema de Referencia Espacial, por lo cual cada uno de los elementos se proyectan según el sistema de coordenadas MAGNA_Colombia_Bogota identificado con el código EPSG: 3116.

3. Metodología

En el capítulo a continuación, se menciona el procedimiento que se tuvo en cuenta para realizar: primero, el levantamiento de una carretera que forma parte de la red vial terciaria del país, segundo, la conformación de una base de datos con elementos georreferenciados y, finalmente, la determinación de caudales de los cursos de agua intervenidos por el tramo vial, con la finalidad de que las entidades territoriales logren un trabajo ágil y sencillo, y así mismo, puedan dar cumplimiento a las especificaciones de la metodología del SINC.

3.1 Levantamiento del tramo vial

En primer lugar, la entidad encargada de realizar el correspondiente levantamiento deberá identificar cada una de las vías a las que les realizará el reporte al SINC, y, así mismo, detallar su estado, y las estructuras y sitios críticos que las conforman. Luego, es necesario que defina prioridades en cuanto al nivel de servicio de sus vías terciarias y analice el desarrollo social y económico que le proporcionaría al municipio el tramo vial en cuestión. Finalmente, debe disponer de un equipo topográfico cuyo alcance sea aproximadamente de 1,5 km, con el cual pueda tomar la información georreferenciada de manera rápida y precisa.

3.1.1 Localización y asignación de código vial

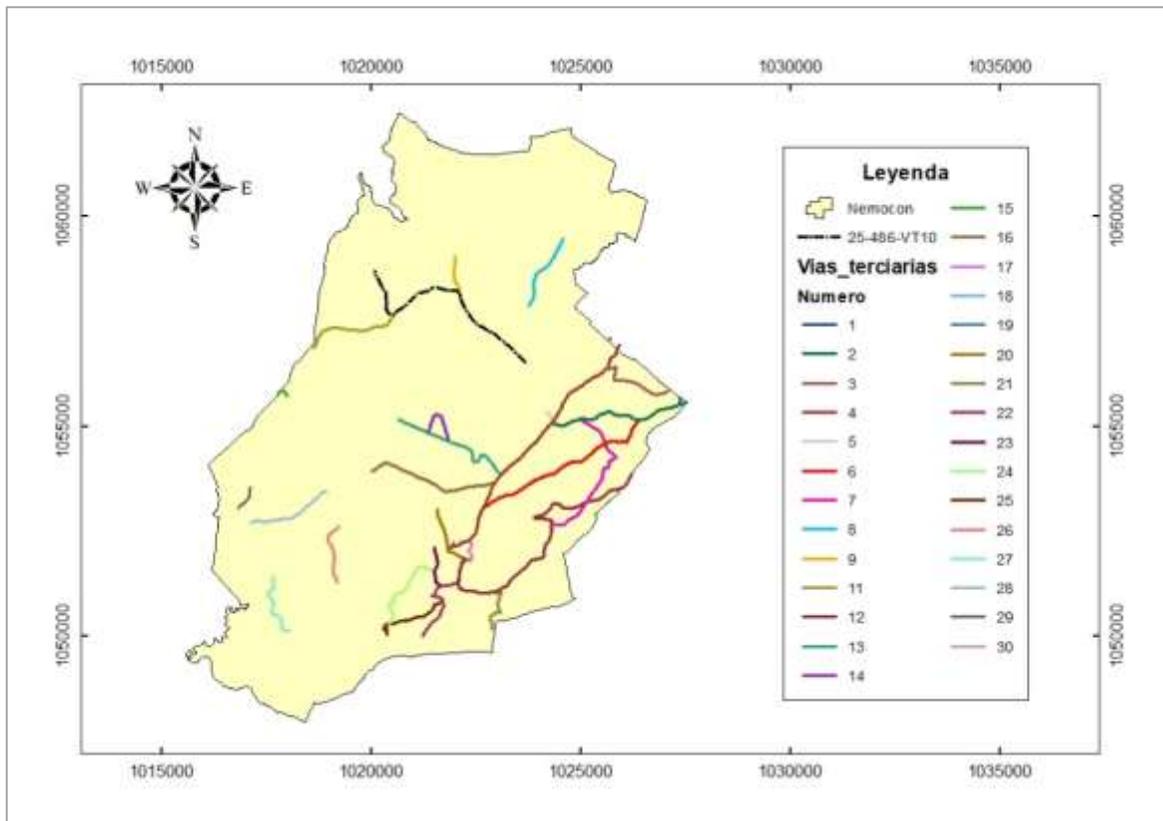
La vía a la cual se le realizó el levantamiento se ubica en el municipio de Nemocón, en el departamento de Cundinamarca. Este municipio está conformado por una malla vial terciaria de aproximadamente 59 km, la cual conecta el casco urbano con diferentes veredas y otros municipios importantes del departamento.

En la **Figura 3-1**, se observa la composición de dicha red vial terciaria, la cual está conformada por 30 segmentos viales. Cada una de estas vías se puede asociar a un único código de identificación, cuya nomenclatura se define así:

Departamento – Municipio – Categoría de la vía – Número vía

Al tramo vial en estudio, se le asignó el código 25-486-VT10, teniendo en cuenta que se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca (25), en el municipio de Nemocón (486), cuya categoría es una vía de tercer orden (VT) y el número de vía fue asignado aleatoriamente.

Figura 3-1: Red vial terciaria de Nemocón

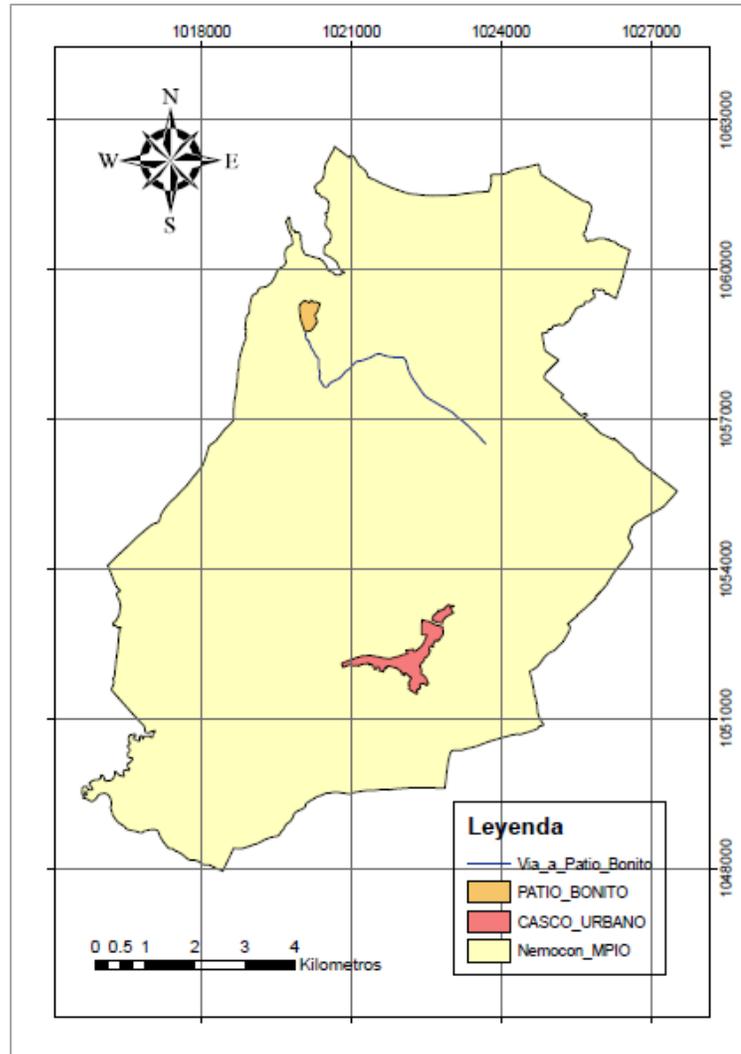


Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la **Figura 3-2** se observa que la vía 25-486-VT10 conecta el casco urbano del municipio de Nemocón con Patio Bonito, un centro poblado de 17.92 hectáreas, a partir de 5.7 km de carretera. Esta vía es considerada una de las más importantes dentro del

municipio, debido a su conexión, pocos kilómetros más allá de Patio Bonito, con la vía Zipaquirá-Ubaté.

Figura 3-2: Vía 25-486-VT10 en Nemocón



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Equipos y recursos

Para el desarrollo del presente proyecto, se utilizó un equipo topográfico GNSS R8S disponible en la Universidad Militar Nueva Granada y además unos elementos auxiliares y de protección personal para dar efectividad al proceso. De igual manera, se dispuso de un vehículo, con el fin de facilitar el transporte de los equipos y optimizar el tiempo de traslado.

De acuerdo con lo anterior, las entidades territoriales pueden implementar los siguientes equipos y materiales para realizar el levantamiento de sus vías terciarias:

▪ **GNSS R8s.**

Marca: Trimble

Precisión máxima: 8 mm H / 15 mm V

Canales: 440

Figura 3-3: Equipo topográfico GNSS R8S [17]



Fuente: Topografía de la tierra de geomática “GNSS R8s”, 2018

▪ **Colector TSC3.**

Marca: Trimble

Sistema operativo: Windows

Tamaño de pantalla: 10.7 cm / 4.2”

Figura 3-4: Colector TSC3 [18]



Fuente: Trimble “Trimble TSC3 Controller”, 2018

▪ **Elementos auxiliares.**

- Cinta métrica
- Flexómetro
- Cuerdas de 20 m
- Pintura aerosol negra

Figura 3-5: Elementos auxiliares



Fuente: Elaboración propia

▪ **Elementos de protección personal.**

- Botas de seguridad punta de acero
- Casco de seguridad
- chaleco reflectivo

Figura 3-6: Elementos de protección personal



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Descripción general

Para llevar a cabo el levantamiento de una vía, se debe ubicar la estación en un punto estable y seguro, donde se puedan abarcar los 1.5 km de alcance del equipo. Una vez ubicada la estación, es necesario configurar el inicio del levantamiento, teniendo en cuenta el sistema de referencia espacial, la altura de la zona, y otros parámetros fundamentales.

Para la toma de información, se crea una biblioteca en oficina con cada uno de los elementos y sus correspondientes características, los cuales se mencionan en la Resolución 1321 del 2018. Por lo tanto, mientras se avanza a lo largo del tramo vial, se van tomando las coordenadas geográficas de los diferentes elementos en los puntos o condiciones específicas que establece la metodología del SINC, información que se va almacenando en el colector TSC3.

3.2 Creación de la base de datos

De acuerdo con lo estipulado en la metodología del SINC sobre las diferentes capas geográficas a reportar, se toman los resultados del levantamiento, y se consolida una base de datos mediante archivos formato ESRI Shapefile (SHP) a partir de la herramienta computacional ArcGIS 10.5.1. Este software permite representar visualmente y en términos de ubicación cartográfica los diferentes elementos que se obtengan en el registro.

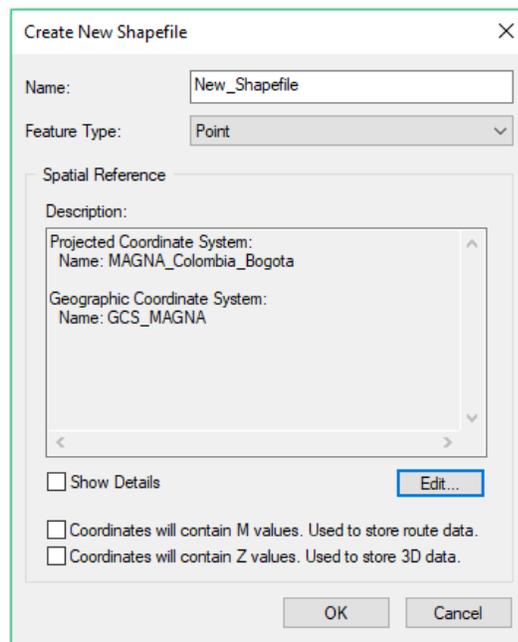
3.2.1 Exportación de datos

Los datos georreferenciados obtenidos durante el levantamiento se deben transferir en formato “job” a un computador. Para ello, es necesario tener instalado el programa “Centro de dispositivos de Windows Mobile”, el cual reconoce mediante Bluetooth o USB el colector TSC3 donde se almacenó toda la información. Cuando se establezca la conexión, se debe conectar la licencia del equipo topográfico, para que mediante el software “Trimble Business Center” se puedan observar los datos y exportar en formato “shp” cada uno de los registros realizados durante el levantamiento.

3.2.2 Procesamiento de la información

Inicialmente, para crear un archivo shapefile es necesario generar una carpeta donde se deben ubicar todas las capas geográficas para reportar al SINC. Por medio de ArcCatalog () , se da clic derecho sobre la carpeta establecida, y en “new” se selecciona “Shapefile” obteniendo la ventana ilustrada en la **Figura 3-7**, donde se debe especificar el nombre de la capa geográfica, el tipo de geometría y el sistema de coordenadas, de acuerdo con lo enunciado en la “Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de información de Carreteras – SINC”.

Figura 3-7: Crear Nuevo Shapefile en ArcMAP 10.5.1



Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS 10.5.1. “*Create New Shapefile*”, 2018

Lo anterior, se realiza mediante los datos obtenidos en el levantamiento, con el fin de conservar la información georreferenciada de cada uno de los elementos que conforman la vía. Sin embargo, para definir los parámetros de cada capa geográfica como se especifica en la Resolución 1321 del 2018, se presiona sobre el archivo shapefile que se desea editar, y luego en el menú de herramientas de ArcMap 10.5.1 se da clic en editar () y se abre la tabla de atributos donde se complementa la información según corresponda.

Por otro lado, la representación visual y condiciones generales de cada uno de los elementos a reportar se especifican a continuación:

- **EJES (Ejes de la vía)**

Esta capa geográfica es la base principal del sistema, puesto que, no solo representa la geometría vial, sino que los demás elementos están relacionados a esta. Se visualiza a partir de una polilínea que va desde el inicio hasta el final de la vía, y se traza siguiendo los puntos que conforman la capa FOTOEJE y otros puntos adicionales obtenidos mediante Google Earth para hacer referencia a las curvas que conforman la geometría de la vía en estudio.

- **FOTOEJE (Fotografías de la vía)**

En esta capa geográfica se representan las fotografías obtenidas en el levantamiento a partir de puntos, los cuales se ubican cada 100 m aproximadamente. La Resolución 1321 del 2018 enuncia que cada una de las fotografías diligenciadas en este archivo deben ser en formato digital “jpg”, con tamaño inferior a los 300 KB y tamaño de imagen de 1024x768 pixeles. Sin embargo, la cámara que contiene el colector TSC3 captura fotografías con una resolución mayor a la requerida, por lo cual, mediante el programa “Paint”, disponible en todos los computadores, se puede reducir el tamaño de las imágenes y cambiar el formato digital.

- **PRS (Puntos de referencial lineal)**

El tipo de geometría que representa esta capa geográfica es el punto, sin embargo, el símbolo para visualizarlo corresponde a un cuadrado, con una nomenclatura donde se menciona el número de referencia, la calzada y la distancia verdadera desde el inicio de la vía, según lo estipula la metodología del SINC. Así mismo, estos PRS se ubicaron en cada kilómetro de la vía aproximadamente, incluyendo el punto inicial y final del trazado vial.

- **PROPIEDADES (Propiedades de la vía)**

Teniendo en cuenta que, por cada registro existente en la capa EJES debe existir al menos un registro en la capa PROPIEDADES, en el proyecto desarrollado en este trabajo de grado, se obtuvieron tres registros dentro de la capa geográfica PROPIEDADES, de los cuales dos de ellos caracterizaron el segundo registro de la capa EJES, ya que en este

segmento de la vía se presentaron cambios en los atributos relacionados con el ancho de carril, pendiente y estado.

Para determinar el ancho del carril del tramo vial, se utilizó un decámetro con el cual se midió 3 veces por kilómetro dicho parámetro, para luego, promediar estos datos y establecer un ancho por cada kilómetro de la vía. Con respecto a los valores obtenidos y según lo enunciado en la metodología del SINC, se consideró si el cambio era representativo entre cada punto de referencia para establecer un nuevo registro en la capa PROPIEDADES.

Así mismo, es fundamental que al igual que la capa EJES, las propiedades de la vía se representen a partir de polilíneas que sigan el trazado del eje de la vía, y se dividan en el número de registros necesarios con los cuales se represente la situación real de la vía en estudio.

▪ **PUENTES**

Para visualizar un puente que forma parte del eje vial en estudio, se hace a partir de un punto, el cual se ubica en el inicio del puente según el sentido del registro. Es necesario medir las dimensiones del puente y observar detalladamente el estado de este, con el fin de dar cumplimiento a los campos que especifica la metodología del SINC.

Por otro lado, es importante conocer el nombre del puente que, por lo general, en las vías de tercer orden no es fácil de identificar. Por lo tanto, al puente localizado en el primer registro de la vía 25-486-VT10 se le asignó un nombre de acuerdo con la corriente de agua que capta dicha estructura.

▪ **MUROS, TÚNELES Y SITIOS CRITICOS**

Como se menciona en la Resolución 1321 del 2018, cuando no exista un tipo de elemento la capa se reporta con la estructura definida, pero sin ningún registro. En la vía 25-486-VT10, no se presentan estructuras tipo muro o túnel, y de igual manera, no hay presencia de sitios críticos del tipo definido en la metodología del SINC, por lo cual las capas correspondientes a estos elementos no contienen ninguna información relacionada con el tramo de la vía en estudio.

▪ OBRASDRENAJE

Finalmente, la capa geográfica OBRASDRENAJE se representa a partir de un punto, el cual se ubica en la posición exacta de un box culvert, alcantarilla u otro tipo de obra de drenaje que se enuncie en la metodología del SINC. Al igual que en la capa FOTOEJE, se debe tomar una fotografía de cada una de las estructuras encontradas en el tramo vial, con las condiciones de tamaño y formato especificadas anteriormente.

Así mismo, cuando se evidencian obras de drenaje es importante tener en cuenta la longitud, el número de secciones y ancho de estas, el material y estado, los cuales se deben medir y determinar en campo justo cuando se está realizando el levantamiento.

3.3 Determinación de caudales

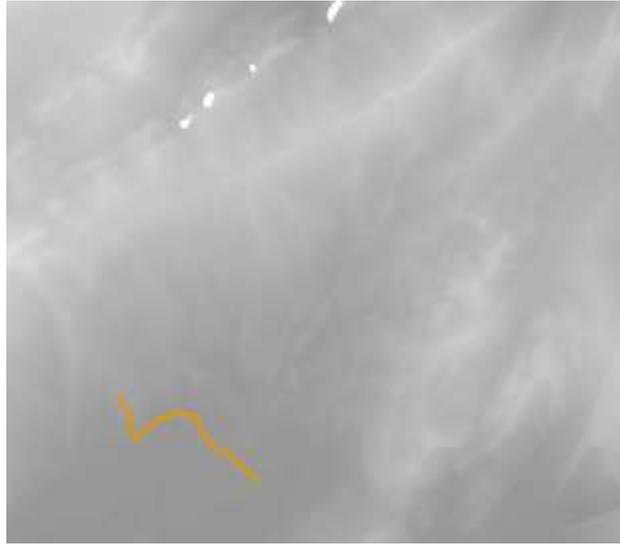
Como factor adicional al procedimiento desarrollado anteriormente, se realizó el análisis hidrológico del municipio de Nemocón, mediante información climatológica de la zona, para determinar el caudal de la cuenca que es atravesada por la vía a Patio Bonito (25-486-VT10). Por lo tanto, para conocer el valor del caudal pico de la cuenca hidrográfica en estudio, se debe seguir el siguiente proceso:

3.3.1 Cuenca hidrográfica

En primer lugar, es necesario contar con un Modelo de Elevación Digital (DEM) de 30 m, con el cual se pueda definir el área aferente del río atravesado por el tramo vial en cuestión. Para ello, se debe ingresar a la página <http://earthexplorer.usgs.gov/>, y crear una cuenta de usuario para poder descargar el ráster que cubra la totalidad del área en estudio en formato “.tif”.

Mediante el software ArcMap 10.5.1, se abre el DEM que ha sido nombrado “Cuenca_DEM.tif” y el eje de la vía, como se observa en la **Figura 3-8**, y se procede a definir la dirección y acumulación de flujo y, además, una evaluación condicional que determine la red de drenaje. Lo anterior, siguiendo el tutorial paso a paso para delimitar una cuenca con »*Hydrology of Spatial Analyst*« de ArcGIS.

Figura 3-8: DEM de 30 m de Nemocón, Cundinamarca [19]



Fuente: Earth Explorer “DEM 30 m”, 2018.

Sin embargo, alrededor de la corriente de agua analizada en este trabajo de grado, se presenta un terreno relativamente plano, por lo tanto, al delimitar la cuenca hidrográfica por medio de la herramienta “Watershed”, el software no encuentra el camino descendente de una celda a otra. Por tal motivo, es necesario generar las curvas de nivel de la región utilizando la herramienta “Contour”, con las cuales se pretende ubicar los niveles más altos de la zona en cuestión para determinar los límites de la cuenca.

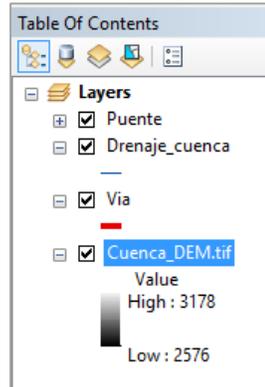
Es decir, para definir el área aferente del río atravesado por el tramo vial, se crea un archivo shapefile de tipo polígono, cuya área debe cubrir la red de drenaje definida previamente y se limite con los puntos más altos del terreno adyacente.

3.3.2 Parámetros morfométricos

A partir del polígono que representa el área de la cuenca, se calculan diferentes parámetros referentes a su morfometría. Por ejemplo, el área, perímetro, y centroides X, Y y Z, se calculan dentro de la tabla de atributos del shapefile de la cuenca. Por lo tanto, se debe dar clic derecho sobre uno de los campos de la tabla, luego, se presiona en “Calculate geometry”, y en la ventana que se genera, se especifica el parámetro por calcular y las unidades en que se desea obtener.

Por otro lado, se puede determinar la cota máxima y cota mínima de la cuenca al desplegar la capa del DEM en la tabla de contenido de la pantalla inicial del software, así como se evidencia en la **Figura 3-9**.

Figura 3-9: Tabla de contenido en ArcMap 10.5.1



Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS 10.5.1 “*Table of Contents*”, 2018

Así mismo, al identificar el cauce principal de la cuenca, el cual corresponde a la línea de flujo que recorre una mayor longitud dentro del área de la cuenca, es posible definir varios de sus parámetros como, longitud, pendiente y tiempo de concentración. Para conocer la longitud, se implementa el mismo proceso que con los parámetros morfométricos de la cuenta, donde se utiliza la herramienta “Calculate geometry”. Luego, se aplican las siguientes ecuaciones para determinar pendiente y tiempo de concentración:

❖ Pendiente (S):

$$S [m/m] = \frac{\text{Cota máxima} - \text{Cota mínima}}{\text{Longitud del cauce ppal}} \quad \text{Ec (1)}$$

❖ Tiempo de concentración (t_c):*

$$t_c [min] = 0.0078 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \text{Ec (2)}$$

***Nota 1:** La Ec (2), corresponde a la fórmula de Kirpich para determinar el tiempo de concentración, donde la longitud del cauce principal (L) se mide en pies (ft), y la pendiente en pies/pies (ft/ft).

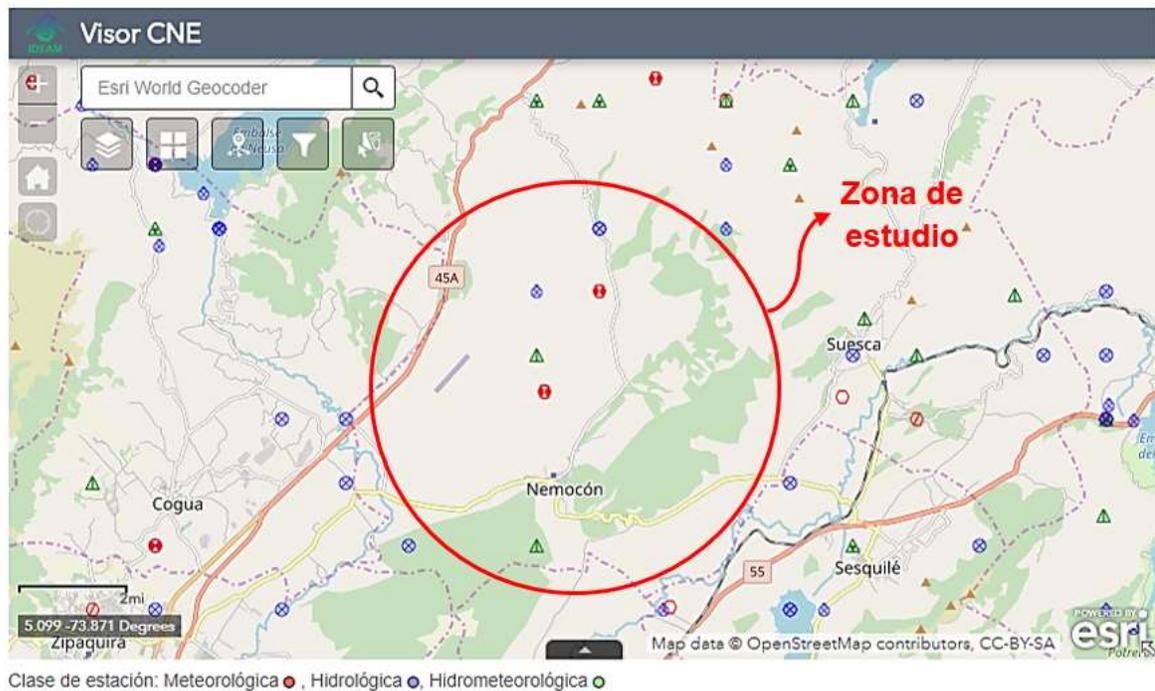
Finalmente, para determinar el perfil longitudinal del cauce principal, se ubica la barra de herramientas “3D Analyst” y se da clic en “Interpolate Line” con la capa del DEM de la cuenca activado, así como se enuncia en el tutorial paso a paso de ArcGIS.

3.3.3 Información hidrometeorológica de la zona

Para conocer la climatología de una región en el territorio colombiano, se deben ubicar las diferentes estaciones en la zona de estudio, y analizar su proximidad al proyecto vial en cuestión. Por lo tanto, el IDEAM mediante su Página Web, brinda el acceso a datos hidrometeorológicos en series históricas de diversas estaciones, según requiera el usuario.

En la **Figura 3-10**, se evidencia que dentro del municipio de Nemocón hay 2 estaciones hidrometeorológicas, de categoría pluviométrica, con las cuales se puede realizar el análisis correspondiente, sin embargo, solo una de estas se encuentra actualmente activa.

Figura 3-10: Visor de datos hidrometeorológicos en Colombia [20]



Fuente: IDEAM – *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 2014

De acuerdo con lo anterior, para el presente proyecto se tomó la información registrada por la estación ACANDY, ya que no solo se relaciona con la corriente del río Checua, sino que también cuenta con series de datos históricos desde el año 1997 hasta el 2018. En la **Figura 3-11**, se presenta el código de identificación, ubicación geográfica, categoría, y entre otras características de dicha estación.

Figura 3-11: Características de estación ACANDY [20]

CODIGO CAT	NOMBRE	CATEG	ESTADO	CORRIENTE	DEPTO	MPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	FECHA INST
21201410	ACANDY	PM	Activa	R. Checua	Cundinamarca	Nemocón	5.05	-73.88	2600	10/15/1977

Fuente: Adaptación propia. “*Catálogo del IDEAM*”, 2014

Los datos que registra la estación ACANDY [21201410] relacionados con las precipitaciones máximas en 24 horas (M), el número de días con precipitación (N) y las precipitaciones totales mensuales (PT) de la zona que abarca, se obtuvieron mediante la red de estaciones climatológicas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, la cual se encuentra en la Página Web Oficial del Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC), y se enuncian en las tablas a continuación:

Tabla 3-1: Precipitaciones máximas en 24 horas en Nemocón [21]

PRECIPITACIONES MÁXIMAS 24 HORAS													
ESTACIÓN: Acandy		CÓDIGO: 2120141		MUNICIPIO: Nemocón		CUENCA: R.Checua		1977 - 2018					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	M
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	22	29	
1978	0	13	21	35	13	11	5	15	35	17	8	11	35
1979	10	9	35	34	38	28	20	14	20	30	24	15	38
1980	15	25	6	10	13	11	6	6	6	22	11	19	25
1981	11	6	4	20	22	11	8	16	20	17	17	27	27
1982	25	16	20	30	13	3	9	5	16	15	9	4	30
1983	3	8	15	13	10	4	8	3	3	13	5	8	15
1984	4	14	22	25	37	16	6	14	29	27	20	18	37
1985	10	6	7	15	21	10	24	12	20	15	25	45	45
1986	39	28	22	16	15	16	7	12	24	40	21	4	40
1987	15	19	28	25	34	10	8	15	15	39	27	28	39
1988	12	5	30	11	27	8	12	10	26	26	32	10	32
1989	30	20	35	35	16	15	16	9	10	10	20	35	35
1990	7	22	30	17	38	0	5	10	10	25	22	30	38
1991	22	18	36	17	22	5	11	10	3	20	20	15	36
1992	4	15	20	20	5	8	15	14	10	10	20	20	20
1993	10	5	30	25	20	6	15	5	25	25	17	6	30

Continuación **Tabla 3-1**

1994	0	0	0	0	33	5	6	7	19	50	19	8	50
1995	9	15	27	19	26	10	11	21	3	9	16	10	27
1996	14	36	21	18	20	10	15	10	26	23	12	12	36
1997	26	6	19	64	5	21	26	7	10	29	2	1	64
1998	5	21	23	13	36	8	9	7	8	23	8	16	36
1999	7	26	34	6	9	14	8	9	12	13	16	17	34
2000	25	18	14	12	7	15	12	8	16	25	14	8	25
2001	0	18	31	13	18	9	11	10	27	20	33	10	33
2002	15	19	25	18	28	10	21	11	16	23	8	17	28
2003	11	24	13	25	18	0	0	0	0	0	1	11	25
2004	49	24	29	36	44	10	11	7	37	40	15	17	49
2005	2	33	9	29	20	25	21	12	12	23	20	25	33
2006	10	55	40	27	17	16	0	16	7	30	35	12	55
2007	12	12	31	34	33	13	17	13	13	22	12	22	34
2008	9	28	14	54	30	22	36	18	19	31	20	0	54
2009	20	24	9	30	24	7	18	7	17	37	19	0	37
2010	0	3	7	27	23	16	25	12	27	20	25	16	27
2011	8	37	45	47	40	70	17	34	10	40	17	32	70
2012	13	10	25	45	8	16	24	23	8	40	9	13	45
2013	6	20	14	37	23	9	5	11	25	43	21	27	43
2014	3	13	35	13	46	8	9	9	5	25	20	35	46
2015	5	13	10	9	0	0	0	5	4	0	0	0	
2016	16	8	14	8	5	6	8	16	6	29	15	28	29
2017	32	7	30	24	8	40	11	24	8	11	21	24	40
2018	9	20	17	30	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Adaptación propia. "Serie de datos históricos sobre precipitaciones máxima en 24 horas tomados por estación ACANDY", 2018.

Tabla 3-2: Número de días con precipitación en Nemocón [22]

NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN													
ESTACIÓN: Acandy CÓDIGO: 2120141 MUNICIPIO: Nemocón CUENCA: R.Checua 1977 - 2018													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	N
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	16	4	
1978	0	4	13	18	19	22	18	18	13	14	11	10	160
1979	2	3	8	11	10	13	7	14	6	17	17	8	116
1980	8	11	6	12	11	18	11	12	9	13	8	4	123
1981	3	4	4	21	20	16	12	13	16	15	10	5	139
1982	7	8	16	21	16	11	17	14	9	9	12	4	144
1983	4	8	9	15	10	8	15	8	6	4	4	4	95

Continuación **Tabla 3-2**

1984	8	4	5	5	11	19	14	14	14	8	13	1	116
1985	5	2	5	7	16	16	16	15	14	14	11	9	130
1986	3	13	9	10	14	19	17	9	12	24	15	4	149
1987	2	8	8	7	16	14	19	20	9	22	8	8	141
1988	1	5	5	10	11	17	19	19	13	14	17	11	142
1989	5	8	14	4	20	11	20	9	7	8	13	7	126
1990	3	7	12	16	18	0	3	18	5	17	10	7	116
1991	3	1	15	5	3	8	30	24	4	15	12	3	123
1992	1	1	2	6	4	3	25	10	6	4	13	5	80
1993	3	3	4	11	24	23	31	31	30	31	30	31	252
1994	0	0	0	0	19	17	20	23	12	15	15	5	126
1995	7	8	12	13	16	22	19	17	9	9	9	13	154
1996	8	10	10	16	18	20	19	24	15	15	11	11	177
1997	17	8	1	9	17	18	25	22	14	12	7	3	153
1998	2	5	11	10	31	25	24	20	14	18	14	18	192
1999	10	9	15	10	17	24	17	16	25	23	23	9	198
2000	7	8	7	6	14	11	6	8	16	16	8	3	110
2001	0	6	9	4	13	17	13	18	13	8	12	10	123
2002	5	6	8	16	21	21	20	19	14	7	7	3	147
2003	3	5	12	12	13	0	0	0	0	0	1	8	54
2004	5	8	7	15	23	21	18	16	9	17	4	4	147
2005	4	6	5	14	18	12	14	15	15	18	12	4	137
2006	7	4	14	20	23	18	0	13	15	18	12	4	148
2007	2	3	9	16	19	21	15	21	14	19	11	10	160
2008	7	6	10	11	16	17	19	16	15	15	16	0	148
2009	5	7	12	12	8	12	14	14	10	6	6	0	106
2010	0	1	2	18	14	13	16	11	10	15	16	9	125
2011	2	14	18	15	12	16	10	6	6	15	18	7	139
2012	5	3	10	16	13	17	18	13	8	7	5	2	117
2013	3	9	8	7	17	5	11	13	8	8	13	6	108
2014	2	5	12	9	8	23	26	8	11	9	10	3	126
2015	2	8	6	11	0	0	0	25	11	0	0	0	
2016	4	3	8	16	16	24	22	13	11	12	17	12	158
2017	9	4	15	7	7	9	15	7	6	5	7	6	97
2018	3	7	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Adaptación propia. "Serie de datos históricos sobre número de días con precipitación tomados por estación ACANDY", 2018.

Tabla 3-3: Precipitaciones totales mensuales en Nemocón [23]

PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES													
ESTACIÓN: Acandy		CÓDIGO: 2120141		MUNICIPIO: Nemocón		CUENCA: R.Checua		1977 - 2018					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PT
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	133	67	
1978	0	16.2	60.5	161.2	56.7	94.5	49	59.4	80.2	56.5	39	47	60.0
1979	12	17	97	191	131	130	74	100	44	224	137	44	100.1
1980	45	72	19	40	47	74	33	35	21	114	44	33	48.1
1981	30	13	10	173	155	65	47	96	91	65	70	76	74.3
1982	77	70	83	246	107	18	42	32	48	86	53	10	72.7
1983	7	35	55	54	45	19	41	14	9	23	12	19	27.8
1984	20	26	61	75	119	87	42	76	130	79	76	18	67.4
1985	28	11	18	46	95	67	116	59	105	115	85	124	72.4
1986	62	146	99	47	126	120	52	41	90	293	100	9	98.8
1987	22	49	73	62	127	55	53	59	62	197	79	63	75.1
1988	12	11	83	50	71	55	52	86	87	107	161	45	68.3
1989	47	62	142	53	117	55	89	34	41	38	81	86	70.4
1990	12	48	85	140	122	0	11	81	27	189	69.5	77	71.8
1991	32	18	193	64	33	31	99	76	10	149	112	40	71.4
1992	4	15	40	68	15	19	151	52	40	19	143	45	50.9
1993	17	11	57	104	163	67	95	35	76	32	67	19	61.9
1994	0	0	0	0	111.5	31.1	50.1	47.2	52.4	145.8	116.4	14	47.4
1995	22.3	44.1	80.1	50.7	56.1	63.3	56.5	111.4	11.6	40.6	41	72.1	54.2
1996	37.4	62.6	113	73.9	92.3	56.9	83.6	49.6	116.9	104.6	51.1	54.8	74.7
1997	80.5	9.3	18.7	100.9	26.3	68.5	100.6	37.6	49.1	67.7	4.5	1.9	47.1
1998	7.4	48.3	99	43.7	253.3	68.5	99.1	58.9	34.8	92.8	33.8	92.1	77.6
1999	20.4	56.1	116.4	24.8	56.3	84.1	33.7	51.2	94.7	125.3	116.5	35.3	67.9
2000	47.7	36.4	44	13.5	23.3	23.7	33.6	24.3	78.9	88.1	47.6	17	39.8
2001	0	49.8	59.7	17.9	60.6	34.2	39.9	61.5	97.4	47.2	104.3	35.3	50.7
2002	31.3	33.8	82	125.8	141.4	56.3	73.2	67.3	54	51.2	22.6	19.8	63.2
2003	30.2	57.1	66.3	104.3	47.3	0	0	0	0	0	1.2	25	27.6
2004	72.8	59.9	49	133.3	171.4	73.3	59.8	42.3	81.1	144.1	28.6	26.1	78.5
2005	6	57	24.1	92	117.5	70.4	46.5	61.1	52.4	163.9	96.8	52.8	70.0
2006	29.4	64.4	113.8	182.8	147.6	97.6	0	59.3	34.1	106.6	91.9	21	79.0
2007	14.4	27.5	66.6	132	85.9	66.3	51.3	78.1	47.7	117.3	48.1	55	65.9
2008	26.6	34.7	64.7	88.4	129.1	92.6	98.7	81.1	72.4	96.9	102.7	0	74.0
2009	58	47.6	38.6	71.5	64	33.5	55.3	50.4	38	86.3	41.1	0	48.7
2010	0	2.5	13.4	141.5	100.2	87.1	124.3	66.1	96.9	91.9	208.2	61.5	82.8
2011	12.8	133.6	140.3	246.3	115.8	163.4	59.3	74.4	37.4	243.6	179.5	73.8	123.4
2012	38.8	19.9	83.3	180.6	51.1	89.1	126.1	68.9	32.6	125.1	32.4	16.7	72.1
2013	15.3	86.8	63.1	131.7	130.9	21.1	30.6	57.8	53.3	76.8	128.3	71	72.2

Continuación **Tabla 3-3**

2014	5.7	29.1	164	45.9	85.5	56.1	75.9	42	31.9	69.1	75.5	58.7	61.6
2015	5.1	35.8	36.2	43.4	0	0	0	52.1	15.9	0	0	0	
2016	43.5	16.2	85.8	43.1	42.9	44.3	56	63.7	36.5	100	76.6	85.8	57.9
2017	130.8	13.4	156.4	40	27.5	98.5	52.2	69.7	22.5	30.1	56.3	78.5	64.7
2018	17	39.3	50.7	143.7	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Adaptación propia. “Serie de datos históricos sobre precipitaciones totales mensuales tomados por estación ACANDY”, 2018.

No obstante, en las tablas anteriores se evidencian varios años (1977, 2015 y 2018) con datos atípicos, por lo cual, no se tuvo en cuenta dicha información con el fin de reducir el porcentaje de error en la generación de las curvas IDF que representarán el comportamiento pluvial del municipio de Nemocón.

3.3.4 Curvas IDF

Mediante las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) es posible esquematizar el comportamiento pluvial de una zona y, así mismo, determinar el caudal de diseño de las obras de drenaje que deben captar y evacuar la demanda de agua en determinado periodo de retorno. Lo anterior permite establecer las dimensiones de estas estructuras hidráulicas, las cuales están directamente relacionadas con los costos de construcción.

Teniendo en cuenta que la estación hidrometeorológica seleccionada no se ubica dentro de la cuenca de estudio del presente proyecto, se empleó el “Método Sintético” para la determinación de las curvas IDF. Para ello, se evaluaron 3 ecuaciones empíricas de la literatura de Vargas y Diaz-Granados, las cuales dependen de unas constantes con las cuales se hace referencia a la región donde se ubica la estación utilizada para el análisis hidrológico, que en este caso corresponde a la Región Andina (R1), conforme se ilustra en la **Figura 3-12** y **Figura 3-13**.

Figura 3-12: Resultados para la Región Andina (R1) [24]

	a	b	C	D	E	f	g	r ²
ec.8	0.94	0.18	0.66	0.83				0.93
ec.9	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05			0.93
ec.11	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08		0.93
ec.12	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01	0.93

Fuente: Vargas & Diaz-Granados, “Curvas sintéticas IDF”, 1998

Figura 3-13: Región de ubicación de las estaciones [24]

Fuente: Vargas & Diaz-Granados, “*Curvas sintéticas IDF*”, 1998

Por lo tanto, las 3 ecuaciones propuestas por Vargas y Diaz-Granado aplicadas para el territorio colombiano, son [24]:

▪ **Ecuación 8:**

$$I [mm/h] = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d \quad \text{Ec (3)}$$

▪ **Ecuación 9:**

$$I [mm/h] = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e \quad \text{Ec (4)}$$

▪ **Ecuación 11:**

$$I [mm/h] = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f \quad \text{Ec (5)}$$

De igual manera, se observa que las ecuaciones dependen de parámetros pluviométricos los cuales se relacionan con la información climatología de la zona donde se desea realizar el análisis. Dichos parámetros son:

- ❖ Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria, (M).
- ❖ Número de días con lluvia al año, (N).
- ❖ Precipitación media anual, (PT).

Según se mencionó anteriormente, las variables a , b , c , d , e y f están relacionadas con la región donde se ubica la estación hidrometeorológica seleccionada, por lo tanto, para la Región Andina (R1) y las ecuaciones utilizadas, dichas variables adoptan los valores enunciados en la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4: Valor de las variables por cada ecuación para la Región Andina [24]

Variables	Ecuación 8	Ecuación 9	Ecuación 11
a	0.94	1.22	1.61
b	0.18	0.19	0.19
c	0.66	0.66	0.65
d	0.83	0.83	0.75
e	-	-0.05	-0.15
f	-	-	0.08

Fuente: Adaptación propia. “*Curvas sintéticas regionalizadas de IDF para Colombia*”, 1998

Finalmente, se evidencia que las ecuaciones también están relacionadas con el periodo de retorno (T) y la duración de lluvia (t). Por lo tanto, se aplicaron dichas ecuaciones para periodos de retorno entre 2 y 100 años, y para duraciones de lluvia entre 15 y 360 minutos.

3.3.5 Caudal máximo

De acuerdo con los parámetros de la cuenca, se debe tener en cuenta el tamaño de esta, puesto que en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS se especifica que para áreas de drenaje mayores a $2,5 \text{ km}^2$, el caudal máximo en la cuenca se determina mediante el método del hidrograma de escorrentía superficial. Por lo tanto, para facilitar la determinación del caudal por medio de los resultados obtenidos de las 3 ecuaciones anteriores, se utiliza el programa HEC-HMS, aplicando el método del United States Soil Conservation Service (SCS).

En primer lugar, el diseño de las curvas IDF permiten desarrollar un hietograma de diseño mediante el “Método del bloque alterno”, el cual depende de la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo de determinada duración. El resultado del bloque alterno constituirá la información que requiere el programa HEC-HMS para la

determinación de caudales, junto con los parámetros morfométricos de la cuenca (Área) y del cauce principal (Longitud, pendiente y tiempo de concentración).

Así mismo, al seleccionar el método de pérdidas del SCS por número de curva (CN), se debe identificar el valor de dicho parámetro, el cual depende del uso de la tierra en la zona de estudio que, para este caso, se consideró un grupo hidrológico de suelo tipo C, ya que se refiere a suelos con altos contenidos de arcilla, que como se muestra en la **Figura 3-14**, para pastizales y tierra cultivadas en condiciones óptimas corresponde a 74 y 78, respectivamente. Al ponderar los valores, teniendo en cuenta que el porcentaje de pastizales es del 10% y de cultivos del 90% aproximadamente, se obtuvo un CN de 77.6.

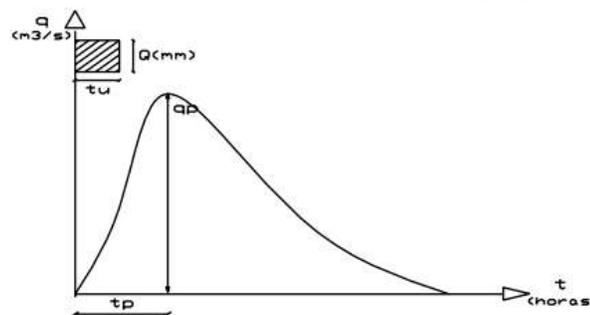
Figura 3-14: Número de curva de escorrentía para usos de tierra [25]

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80

Fuente: Ven Te Chow “Capítulo 5 - Tabla 5.5.2”, 1994

Finalmente, se establece el periodo de retorno el cual depende del tipo de obra de drenaje que se está analizando. Y, al contar con todos los datos anteriores, se introducen los valores al programa HEC-HMS siguiendo el tutorial paso a paso para la determinación de caudales pico mediante hidrograma unitario, y se procesa la información para obtener como efecto final una gráfica de tiempo versus caudal, como se ilustra en la , y el resumen de los resultados.

Figura 3-15: Hidrograma de escurrimiento - Método SCS [26]



Fuente: Hidrología “Hidrograma unitario sintético”, s.f

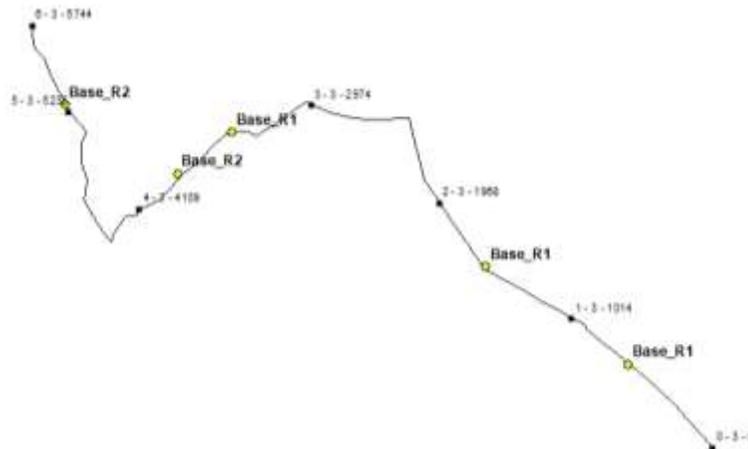
4. Resultados y análisis

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos al aplicar la metodología mencionada en el capítulo 3. De igual manera, se describen los respectivos análisis que dieron lugar a los diferentes resultados tanto para el levantamiento de la vía, la creación de la base de datos, y como para la determinación de caudales en la cuenca hidrográfica. Como elemento adicional, se realiza un estudio general de la capacidad del puente que conforma la vía en estudio con relación al comportamiento pluviométrico de la zona.

4.1.1 Levantamiento de la vía a Patio Bonito en Nemocón

Teniendo en cuenta el alcance del equipo topográfico utilizado para el levantamiento de la vía 25-486-VT10, en la **Figura 4-1**, se evidencia la ubicación de la estación en 5 diferentes puntos del tramo vial, de los cuales 3 corresponden al primer registro tomado el 5 de diciembre del 2018, y 2 al del 18 de diciembre de ese mismo año.

Figura 4-1: Ubicación de la estación a lo largo del tramo vial



Fuente: Elaboración propia

Por cada registro tomado en el levantamiento de la vía a Patio Bonito, se obtuvieron los resultados de la **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2**, donde se hace referencia a las coordenadas geográficas de cada uno de los elementos que conforman dicha vía en el municipio de Nemocón:

Tabla 4-1: Registro 05/12/2018 de la vía a Patio Bonito

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	ELEMENTO
1	1056516.7	1023691.2	2596.3	FOTOEJE
2	1056516.8	1023691.0	2596.2	PRS
3	1056588.0	1023619.4	2596.6	PRS
4	1056588.0	1023619.3	2596.6	FOTOEJE
5	1056664.0	1023550.7	2597.0	PRS
6	1056664.0	1023550.7	2597.0	FOTOEJE
7	1056740.5	1023482.8	2597.4	FOTOEJE
8	1056739.8	1023482.1	2597.3	PRS
9	1056809.0	1023408.2	2598.0	PRS
10	1056809.0	1023408.2	2597.9	FOTOEJE
11	1056878.2	1023334.1	2598.5	FOTOEJE
12	1056878.2	1023334.1	2598.5	PRS
13	1056942.6	1023256.5	2598.9	PRS
14	1056942.6	1023256.5	2598.9	FOTOEJE
15	1057007.0	1023179.5	2599.2	FOTOEJE
16	1057006.8	1023179.1	2599.1	PRS
17	1057070.9	1023101.0	2599.6	PRS
18	1057071.0	1023101.1	2599.6	PRS
19	1057070.9	1023101.1	2599.6	FOTOEJE
20	1057136.3	1023025.0	2602.8	FOTOEJE
21	1057136.3	1023025.0	2602.8	PRS
22	1057142.6	1023019.6	2603.6	PUNTES
23	1057195.6	1022944.0	2599.5	FOTOEJE
24	1057195.5	1022943.8	2599.5	PRS
25	1057244.1	1022855.9	2596.7	FOTOEJE
26	1057244.1	1022855.9	2596.7	PRS
27	1057281.2	1022787.2	2596.2	PRS
28	1057281.2	1022787.3	2596.2	FOTOEJE
29	1057332.4	1022702.2	2595.6	FOTOEJE
30	1057332.4	1022702.2	2595.7	PRS
31	1057371.4	1022633.3	2595.4	PRS
32	1057371.3	1022633.3	2595.4	FOTOEJE
33	1057419.9	1022546.8	2595.0	PRS
34	1057420.0	1022546.8	2595.0	FOTOEJE

Continuación **Tabla 4-1**

35	1057475.7	1022467.5	2594.8	FOTOEJE
36	1057476.9	1022469.4	2594.7	PRS
37	1057558.6	1022411.4	2594.8	PRS
38	1057558.6	1022411.4	2594.8	FOTOEJE
39	1057640.1	1022354.5	2594.5	FOTOEJE
40	1057640.2	1022354.5	2594.5	PRS
41	1057721.9	1022297.9	2594.2	PRS
42	1057721.9	1022297.9	2594.2	FOTOEJE
43	1057803.8	1022242.0	2594.2	FOTOEJE
44	1057803.8	1022242.0	2594.2	PRS
45	1057839.7	1022220.2	2594.5	OBRASDRENAJE
46	1057887.4	1022188.9	2593.9	FOTOEJE
47	1057887.3	1022188.9	2593.9	PRS
48	1057938.5	1022150.6	2594.3	OBRASDRENAJE
49	1057992.0	1022144.9	2594.5	FOTOEJE
50	1057992.0	1022144.9	2594.5	PRS
51	1058087.8	1022119.3	2594.7	PRS
52	1058087.8	1022119.3	2594.7	FOTOEJE
53	1058182.7	1022092.7	2595.7	FOTOEJE
54	1058182.6	1022092.8	2595.7	PRS
55	1058250.2	1022042.7	2595.5	PRS
56	1058250.3	1022042.7	2595.5	FOTOEJE
57	1058246.3	1021944.8	2595.4	FOTOEJE
58	1058246.3	1021944.9	2595.4	PRS
59	1058244.9	1021846.1	2595.7	PRS
60	1058244.9	1021846.1	2595.7	FOTOEJE
61	1058250.7	1021792.4	2596.9	OBRASDRENAJE
62	1058259.2	1021749.1	2595.6	FOTOEJE
63	1058259.3	1021749.1	2595.6	PRS
64	1058282.1	1021657.7	2595.2	FOTOEJE
65	1058282.2	1021657.6	2595.2	PRS
66	1058319.8	1021566.9	2595.4	PRS
67	1058319.8	1021567.0	2595.4	FOTOEJE
68	1058301.1	1021482.3	2596.0	PRS
69	1058306.2	1021491.6	2598.7	FOTOEJE
70	1058306.2	1021491.5	2598.7	PRS
71	1058246.6	1021399.6	2599.0	PRS
72	1058246.7	1021399.5	2599.0	FOTOEJE

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar el primer registro, se dejó una marca con pintura aerosol sobre una superficie visible, para que el día que se continuara con el siguiente registro se pudiera encontrar e identificar fácilmente, puesto que es fundamental que cuando una vía está representada por más de un registro, el final del primer registro coincida con el inicio del segundo.

Tabla 4-2: Registro 18/12/2018 de la vía a Patio Bonito

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	ELEMENTO
Inicio	1058246.7	1021399.5	2599.0	FIN DEL 1 ^{er} REGISTRO
1	1058181.2	1021217.3	2609.1	PRS
2	1058181.4	1021217.3	2609.1	FOTOEJE
3	1058160.5	1021102.9	2610.3	FOTOEJE
4	1058160.5	1021102.7	2610.3	PRS
5	1058089.8	1021030.8	2602.9	PRS
6	1058089.8	1021030.9	2603.0	FOTOEJE
7	1058015.8	1020968.1	2599.1	FOTOEJE
8	1058015.9	1020968.2	2599.1	PRS
9	1057961.9	1020882.3	2599.3	PRS
10	1057961.9	1020882.4	2599.3	FOTOEJE
11	1057882.8	1020821.5	2599.4	PRS
12	1057882.8	1020821.6	2599.4	FOTOEJE
13	1057815.1	1020747.5	2609.8	FOTOEJE
14	1057815.0	1020747.5	2609.8	PRS
15	1057772.3	1020656.0	2619.6	PRS
16	1057772.4	1020656.0	2619.6	FOTOEJE
17	1057727.4	1020570.2	2620.1	FOTOEJE
18	1057727.3	1020570.2	2620.1	PRS
19	1057644.9	1020516.9	2621.8	PRS
20	1057644.9	1020517.1	2621.8	FOTOEJE
21	1057651.0	1020461.0	2627.0	FOTOEJE
22	1057651.0	1020460.9	2627.0	PRS
23	1057735.2	1020405.2	2634.6	FOTOEJE
24	1057735.0	1020405.3	2634.5	PRS
25	1057821.5	1020354.4	2640.9	PRS
26	1057821.4	1020354.5	2640.9	FOTOEJE
27	1057919.5	1020373.6	2649.1	FOTOEJE
28	1057919.5	1020373.7	2649.1	PRS
29	1058016.8	1020347.9	2658.0	FOTOEJE
30	1058016.7	1020347.9	2658.0	PRS
31	1058115.5	1020344.6	2666.4	PRS
32	1058115.5	1020344.5	2666.4	FOTOEJE
33	1058208.1	1020351.0	2676.9	FOTOEJE

Continuación **Tabla 4-2**

34	1058208.1	1020350.9	2676.9	PRS
35	1058282.8	1020284.1	2688.0	PRS
36	1058282.7	1020283.9	2688.0	FOTOEJE
37	1058351.0	1020252.1	2695.5	FOTOEJE
38	1058350.9	1020252.1	2695.5	PRS
39	1058425.8	1020204.0	2705.3	PRS
40	1058425.9	1020204.0	2705.3	FOTOEJE
41	1058495.3	1020174.9	2710.6	FOTOEJE
42	1058495.2	1020174.9	2710.6	PRS
43	1058565.8	1020150.1	2719.0	PRS
44	1058565.9	1020150.0	2719.0	FOTOEJE
45	1058618.1	1020097.5	2728.3	FOTOEJE
46	1058618.2	1020097.3	2728.3	PRS
47	1058690.9	1020083.6	2737.1	PRS
58	1058691.0	1020083.6	2737.1	FOTOEJE
49	1058738.4	1020092.1	2742.9	FOTOEJE
50	1058738.4	1020092.1	2742.9	PRS

Fuente: Elaboración propia

Para la toma de los datos anteriores, fue fundamental conocer previamente cada uno de los parámetros establecidos en la metodología del SINC para que en el momento de realizar el levantamiento del tramo vial no se omitiera información adicional como, dimensiones, estado y nivel de servicio, o el correspondiente registro fotográfico de la vía.

De igual manera, antes de iniciar el trabajo en campo, se estableció que los puntos de referencia se medirían en cada kilómetro de la vía y al inicio y final del tramo, y que las fotografías de la vía se tomarían cada 100 metros, así como se enuncia en la Resolución 1321 del 2018. Sin embargo, en el levantamiento desarrollado para el proyecto se presentaron errores de medición de dichas distancias, debido a que, al utilizar una cuerda como elemento de medida longitudinal, cabía la posibilidad de que no se tensara correctamente y alterara las distancias. A pesar de que la cuerda es un material económico y asequible, se considera necesario utilizar otras herramientas que faciliten la medición y permitan obtener los resultados esperados.

Por otro lado, se evidencia que en la vía levantada no se presenta información georreferenciada de estructuras tipo muro o túnel, por lo tanto, no hay registros en las

capas geográficas de estos elementos. Así mismo sucede con la capa correspondiente a los sitios críticos en la vía, ya que el tramo vial en estudio se caracteriza por hundimientos o leves baches, los cuales no forman parte de la lista de sitios críticos especificados en la metodología del SINC.

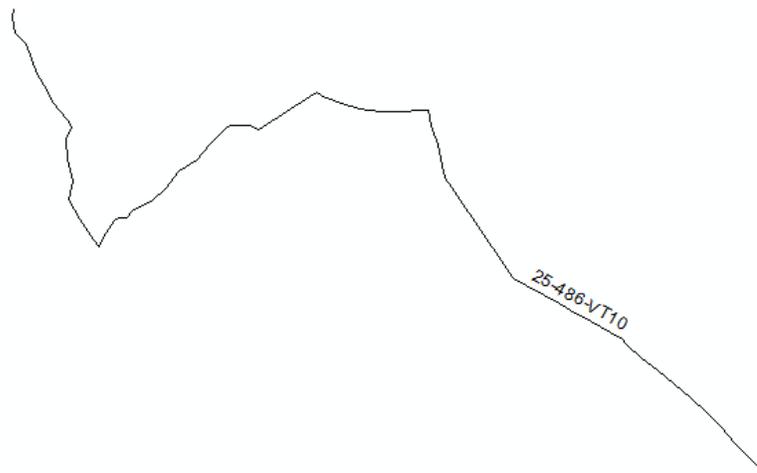
4.1.2 Capas geográficas de la vía 25-486-VT10

Mediante la información registrada durante el levantamiento, se exportaron los archivos shapefile con los cuales se crearon las capas geográficas de cada uno de los elementos de la vía. A continuación, se ilustran los resultados obtenidos al aplicar las herramientas SIG, es decir, la representación visual y las tablas de atributos de los elementos.

- **EJES**

En la **Figura 4-2**, se ilustra el eje de la vía 25-486-VT10 mediante una polilínea, con el cual se representa el diseño geométrico que la caracteriza conservando el concepto de continuidad entre los dos registros realizados.

Figura 4-2: Capa geográfica EJES



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, mediante la **Figura 4-3**, se presenta la información de la vía a Patio Bonito la cual está representada por dos registros cuyo sentido de circulación se realizó desde el inicio (A) hacia al final (B). Esta vía forma parte de la red vial terciaria del municipio de Nemocón, y la infraestructura del eje corresponde a una calzada sencilla

Figura 4-3: Tabla de atributos capa EJES

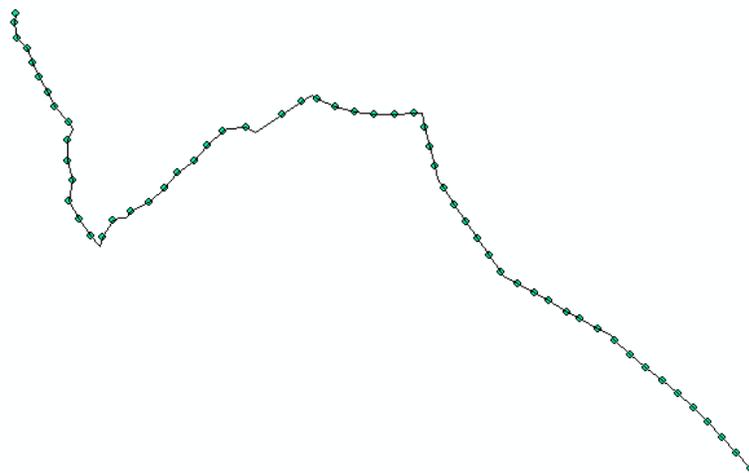
CODIGO VIA	NOMBRE VIA	CATEGORIA	LONGITUD	TIPOEJE	SENTIDO	CODIGO VIA1	OBS
25-486-VT10	VÍA A PATIO BONITO	3	3177	1	1		
25-486-VT10	VÍA A PATIO BONITO	3	2476	1	1		

Fuente: Elaboración propia

La información anterior, es similar para ambos registros ya que como se enuncia en la metodología del SINC, “una vía que esté representada por más de un registro debe tener exactamente el mismo dato en el campo CODIGO VIA, NOMBRE VIA y CATEGORIA” [4], no obstante, lo único que difiere es la longitud de cada segmento vial, que en total equivale a un tramo de 5653 m, considerando las altitudes del terreno.

▪ FOTOEJE

A partir de la **Figura 4-4** se evidencia como los puntos referentes a las fotografías de la vía están relacionados con el trazado vial. Sin embargo, también se observa que las distancias entre los puntos no son iguales en ciertas partes del tramo, debido a las dificultades en la medición exacta de los 100 metros que los separa.

Figura 4-4: Capa geográfica FOTOEJE

Fuente: Elaboración propia

Es indispensable dicho registro fotográfico, puesto que con la captura del estado de la vía en toda su longitud se puede validar la información reportada al SINC. Estas fotografías se relacionan en la **Figura 4-5**, correspondientes a la tabla de atributos de la capa FOTOEJE, donde se menciona la fecha de toma de información en campo asociada al registro, el número de PR, el nombre de la foto, y el URL de ubicación de la imagen en formato JPG.

Figura 4-5: Tabla de atributos capa FOTOEJE

CODIGOVIA	FECHA	NUMPR	FOTO	RUTAFOTO	CALZADA	OBS
25-486-VT10	2018-12-05	0	VIA A PATIO BONITO 1	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	1	VIA A PATIO BONITO 2	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	2	VIA A PATIO BONITO 3	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	3	VIA A PATIO BONITO 4	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	4	VIA A PATIO BONITO 5	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	5	VIA A PATIO BONITO 6	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	6	VIA A PATIO BONITO 7	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	7	VIA A PATIO BONITO 8	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	8	VIA A PATIO BONITO 9	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	9	VIA A PATIO BONITO 10	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	10	VIA A PATIO BONITO 11	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	11	VIA A PATIO BONITO 12	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	12	VIA A PATIO BONITO 13	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	13	VIA A PATIO BONITO 14	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	14	VIA A PATIO BONITO 15	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	15	VIA A PATIO BONITO 16	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	16	VIA A PATIO BONITO 17	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	17	VIA A PATIO BONITO 18	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	18	VIA A PATIO BONITO 19	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	19	VIA A PATIO BONITO 20	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	20	VIA A PATIO BONITO 21	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	21	VIA A PATIO BONITO 22	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	22	VIA A PATIO BONITO 23	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	23	VIA A PATIO BONITO 24	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	24	VIA A PATIO BONITO 25	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	25	VIA A PATIO BONITO 26	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	26	VIA A PATIO BONITO 27	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	27	VIA A PATIO BONITO 28	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	28	VIA A PATIO BONITO 29	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	29	VIA A PATIO BONITO 30	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	30	VIA A PATIO BONITO 31	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	31	VIA A PATIO BONITO 32	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	32	VIA A PATIO BONITO 33	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-05	33	VIA A PATIO BONITO 34	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	34	VIA A PATIO BONITO 35	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	35	VIA A PATIO BONITO 36	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	36	VIA A PATIO BONITO 37	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	37	VIA A PATIO BONITO 38	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	38	VIA A PATIO BONITO 39	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	39	VIA A PATIO BONITO 40	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	40	VIA A PATIO BONITO 41	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	41	VIA A PATIO BONITO 42	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	42	VIA A PATIO BONITO 43	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	43	VIA A PATIO BONITO 44	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	44	VIA A PATIO BONITO 45	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	45	VIA A PATIO BONITO 46	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	46	VIA A PATIO BONITO 47	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	47	VIA A PATIO BONITO 48	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	48	VIA A PATIO BONITO 49	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	49	VIA A PATIO BONITO 50	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	50	VIA A PATIO BONITO 51	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	51	VIA A PATIO BONITO 52	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	52	VIA A PATIO BONITO 53	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	53	VIA A PATIO BONITO 54	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	54	VIA A PATIO BONITO 55	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	55	VIA A PATIO BONITO 56	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	56	VIA A PATIO BONITO 57	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	
25-486-VT10	2018-12-18	57	VIA A PATIO BONITO 58	https://plus.google.com/photos/photo/1056307897861	3	

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, a continuación se presentan algunas de las fotografías de la vía a Patio Bonito capturadas en el levantamiento, con las cuales se evidencia la situación real de la vía, por lo menos, durante el 5 al 18 de diciembre del 2018:

Figura 4-6: Inicio de la vía - K0+000



Figura 4-7: Puente Chucua - K0+919



Figura 4-8: Hundimiento en la vía – K2+574



Figura 4-9: Cambio de pendiente en la vía – K4+709



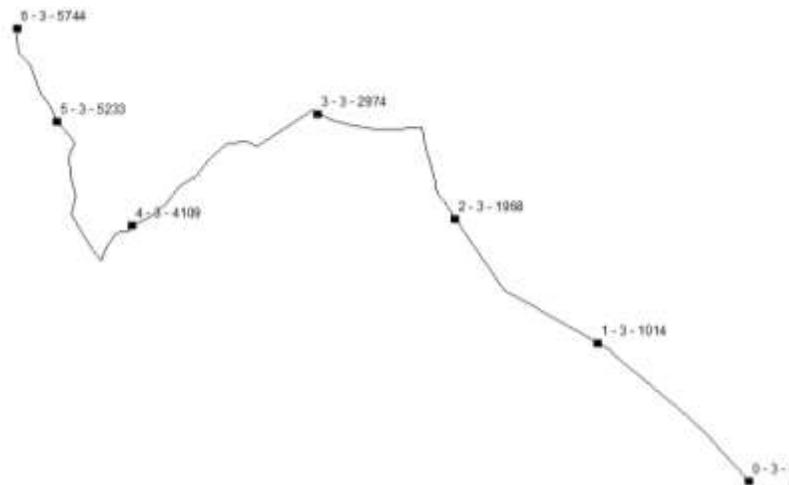
Figura 4-10: Final de la vía - K5+744



▪ PRS

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 3 sobre la metodología implementada para la generación de la capa PRS, en la **Figura 4-11**, se visualizan los puntos de referencia cada kilómetro de la vía aproximadamente a partir de un cuadro con su respectiva nomenclatura.

Figura 4-11: Capa geográfica PRS



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la **Figura 4-12** presenta los atributos referentes a la distancia verdadera de cada punto de referencia de la vía 25-486-VT de calzada sencilla que tiene 5744 metros de longitud y en donde los puntos están ubicados desde el inicio hasta el final de esta.

Figura 4-12: Tabla de atributos capa PRS

CODIGO VIA	FECHA	NUMPR	CALZADA	DISTVERD	OBS
25-486-VT10	2018-12-05	0	3	0	
25-486-VT10	2018-12-05	1	3	1014	
25-486-VT10	2018-12-05	2	3	1968	
25-486-VT10	2018-12-05	3	3	2974	
25-486-VT10	2018-12-18	4	3	4109	
25-486-VT10	2018-12-18	5	3	5233	
25-486-VT10	2018-12-18	6	3	5744	

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la longitud total del tramo obtenida en la capa EJES con la distancia verdadera final en la capa PRS se evidencia una diferencia de 91 metros debido a que en la metodología para reportar la información al SINC se enuncia que, en la capa EJES, se debe considerar la altitud en todo el tramo vial, lo cual se determinó aplicando el “Teorema de Pitágoras” cada 100 metros, mientras que en la capa PRS, se tomó en cuenta la longitud registrada al medir el segmento vial en coordenadas planas.

▪ PROPIEDADES

En la vía a Patio Bonito se presentan cambios en el ancho del carril, pendiente y estado del segmento vial dentro del segundo registro de la capa EJES, por lo tanto, se creó una copia idéntica de los registros en la capa PROPIEDADES y se dividieron en 3 registros según el cambio de atributos, como se ilustra en la **Figura 4-13**, **Figura 4-14** y **Figura 4-15**.

Figura 4-13: Primer registro en capa geográfica PROPIEDADES

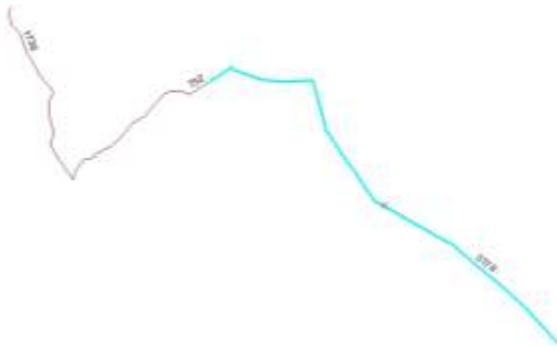
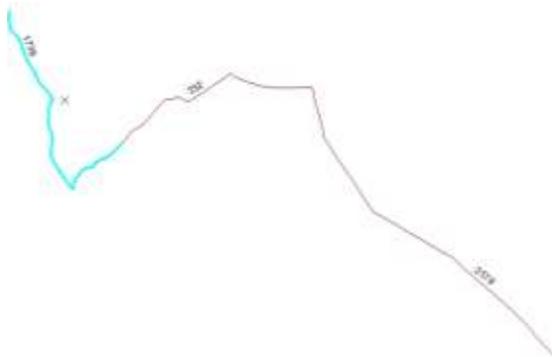


Figura 4-14: Segundo registro en capa geográfica PROPIEDADES



Figura 4-15: Tercer registro en capa geográfica PROPIEDADES



Teniendo en cuenta que cada campo en la tabla de atributos de la capa PROPIEDADES representa la situación real de cada segmento de vía asociado, en la **Figura 4-16**, se puede evidenciar que la vía 25-486-VT10 tiene cambios representativos en el ancho del carril

mayores a los 20 centímetros y en la pendiente por encima de 1 grado sexagesimal. Los atributos en el primer y segundo registro representan una vía en estado bueno, que se encuentra emplazada en un terreno plano cuya pendiente es de 1°, sin embargo, en el tercer registro se presentan cambios de atributos puesto que en este segmento, el terreno es montañoso (pendiente mayor a los 13 grados sexagesimales), y el estado de la vía es regular (presencia de irregularidades en varios sectores de la superficie).

De igual manera, se observa que en los 5,7 km de la vía no hay presencia de bermas, cunetas ni separador, por lo cual, los campos correspondientes se encuentran definidos con un 0, un número real que representa la ausencia de estas estructuras.

Figura 4-16: Tabla de atributos capa PROPIEDADES

CODIGO_VIA	FECHA	LONGITUD	TIPO_TERR	PENDIENTE	TIPO_SUPERF	ESTADO	NUM_CARR	ANCHO_CARR	ANCHO_BERMA	ANCHO_CUNET	ANCHO_SEPAR	OBS
25-486-VT719	2018-12-05	3170	4	1	2	1	1	4.8	0	0	0	0
25-486-VT719	2018-12-18	732	4	1	2	1	1	3.9	0	0	0	0
25-486-VT719	2018-12-18	1736	2	14	2	2	1	4.2	0	0	0	0

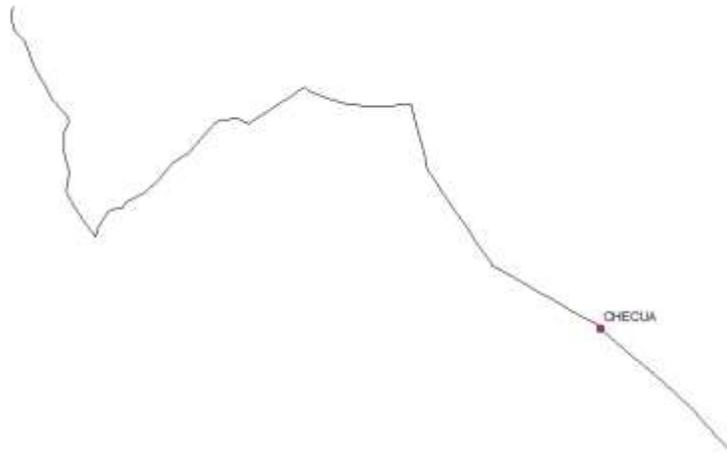
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la vía a Patio Bonito se encontró, por lo menos durante el lapso del levantamiento, 5 al 18 de diciembre de 2018, en buenas condiciones para transitar y no presentó sitios críticos como los definidos en la metodología, que puedan alterar la seguridad y comodidad de los usuarios; no obstante, si se evidencian deterioros leves como pérdida de grava, pérdida de pendiente transversal y baches sobre todo en los últimos 2 kilómetros del tramo aproximadamente. En consecuencia, mediante la metodología del SINC se categoriza el estado general de la vía como bueno, lo que significa: *“Circulación segura, brinda un nivel de servicio muy bueno a satisfactorio; ocasionalmente se detectan pequeñas irregularidades que no afectan la calidad de manejo”*.

▪ Puentes

A 919,27 metros del inicio de la vía a Patio Bonito se ubica un puente, como se ilustra en la **Figura 4-17**, al cual se le adoptó el nombre de Checua, como el río que cruza por dicha estructura.

Figura 4-17: Capa geográfica PUENTES



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4-18**, se ilustra la tabla de atributos de la capa PUENTES, donde se enuncia que el Puente Checua es una estructura de una luz de 15 m con un tablero de 3,9 m de ancho, además, el estado de la capa de rodadura y el estado a nivel estructural es bueno para ambos casos.

Figura 4-18: Tabla de atributos capa PUENTES

CODIGOVIA	FECHA	LONGITUD	DISTINI	NOMBRE	ANCHOTABLE	NUMLUCES	ESTADOSUP	ESTADDEST	OBS
25-486-VT10	2018-12-05	15	919.27	CHECUA	3.9	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia

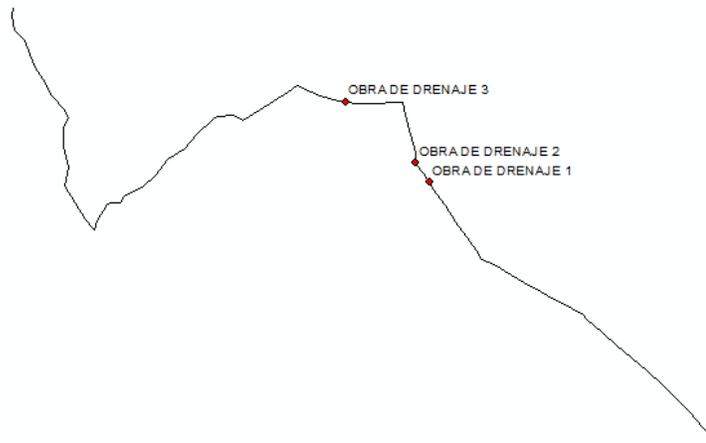
Adicionalmente, mediante una cinta métrica se midió el gálibo del Puente Checua, para determinar junto con la longitud de la luz, la sección transversal de la estructura. Este parámetro es fundamental para realizar el análisis de capacidad del puente según las circunstancias de la zona.



▪ OBRASDRENAJE

El 5 de diciembre del 2018, se evidenciaron 3 cruces de cuerpos de agua entre el kilómetro 2 y 3 de la vía, pero por la temporada seca no se alcanzó a presenciar el flujo de agua; a pesar de las circunstancias los puntos fueron levantados y se registraron como se evidencia en la **Figura 4-19**.

Figura 4-19: Capa geográfica OBRASDRENAJE



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4-20**, se evidencia que las obras de drenaje que conforman la vía 25-486-VT10 son en concreto y se encuentran en buen estado, las primeras dos se encuentran limpias mientras que la tercera está medianamente colmatada. Sin embargo, estas obras de drenaje de tipo “vallado” no se mencionan entre las especificaciones de la metodología del SINC, por lo cual en el campo “TIPO” de la tabla de atributos de la capa OBRASDRENAJE aparece un 5 en todos los registros.

Figura 4-20: Tabla de atributos capa OBRASDRENAJE

CODIGODA	FECHA	ESTADOSRV	ESTADOGEN	TIPO	MATERIAL	LONGITUD	NUMSECC	ANCHO	OBJ	FOTO	WZAFOTO
25-486-VT10	2018-12-05	3	1	5	1	6.3	1	3.3		OBRA DE DRENAJE 1	https://www.google.com/maps/@
25-486-VT10	2018-12-05	3	1	5	1	4	1	2.2		OBRA DE DRENAJE 2	https://www.google.com/maps/@
25-486-VT10	2018-12-05	2	1	5	1	4.6	1	5.4		OBRA DE DRENAJE 3	https://www.google.com/maps/@

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en esta capa también se debe realizar un registro fotográfico con las mismas especificaciones de las fotografías en la capa FOTOEJE, por lo tanto, a partir de estas se comprueba el tipo de obras de drenaje que conforman la vía a Patio Bonito, y así mismo, su estado y material. Las imágenes obtenidas en el levantamiento para esta capa geográfica se presentan a continuación:

Figura 4-21: Obra de drenaje K2+010



Figura 4-22: Obra de drenaje K2+131

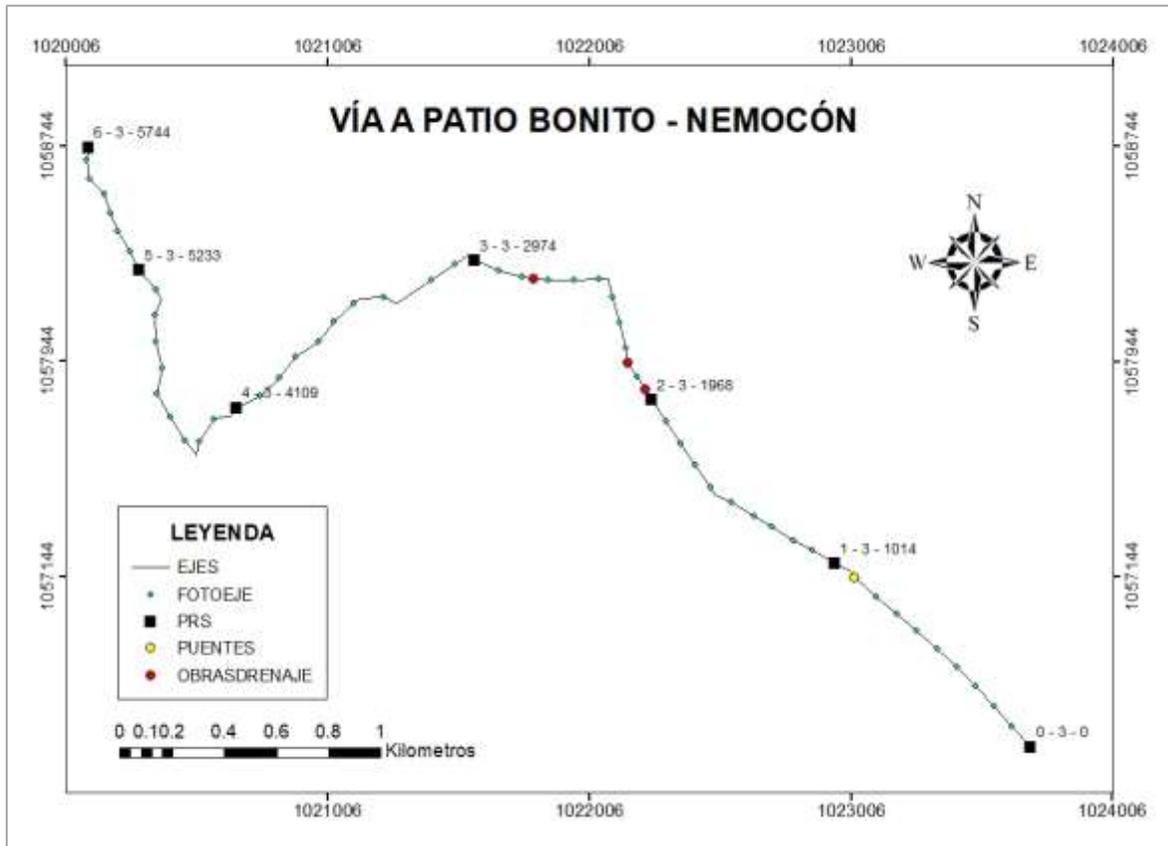


Figura 4-23: Obra de drenaje K2+739



Finalmente, como en la vía no hay presencia de túneles, muros ni sitios críticos como los especificados en la metodología del SINC, no hay información registrada en las capas geográficas correspondientes a estos elementos. Por lo tanto, el resultado final de todos los elementos que conforman la vía 25-486-VT10 se representa visual y cartográficamente a partir de la **Figura 4-24**.

Figura 4-24: Levantamiento de los elementos que conforman la vía a Patio Bonito



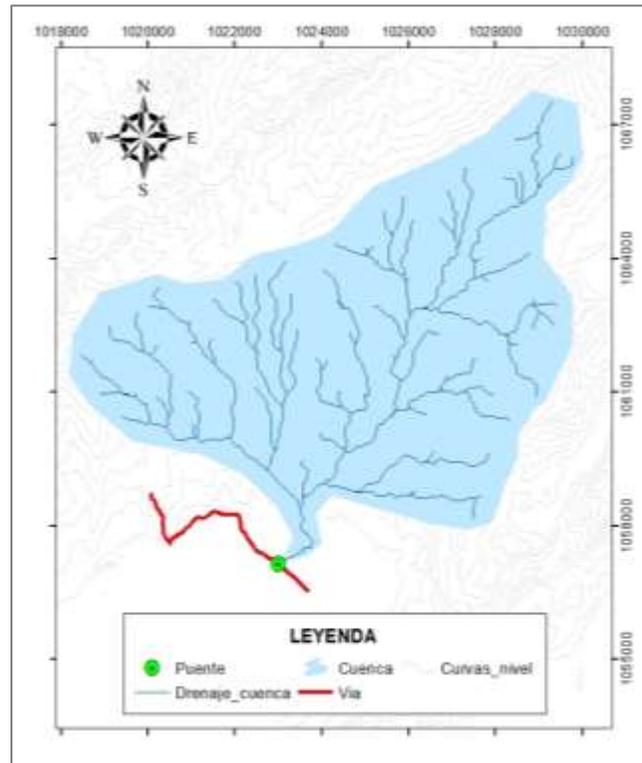
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Cuenca hidrográfica

Teniendo en cuenta que durante el levantamiento de la vía se evidenció un puente en el K0+919 el cual corresponde al punto de desfogue o drenaje de la cuenca, se procedió a determinar el área aferente del río Checua dibujando el perímetro de acuerdo a la línea divisora de aguas mediante el uso de las herramientas del software ArcGIS 10.5.1, dando como resultado lo ilustrado en la **Figura 4-25**.

Tomando como referencia la longitud de la vía que equivale a 5,7 km, se evidencia que el polígono resultante de la cuenca es bastante grande, sin embargo, se procede a determinar los correspondientes parámetros morfométricos, como el área y perímetro, para validar dicho análisis.

Figura 4-25: Delimitación de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 4-26**, se evidencia que la cuenca delimitada tiene un área de 67,1 km², y un perímetro de 38,5 km, valores relativamente grandes, por lo cual es necesario determinar si el puente Checua cuenta con la capacidad de captar la demanda de agua proveniente de dicha cuenca. Adicionalmente, se calculó la ubicación del centroide de la cuenca y la elevación en ese punto, los cuales se registran en los campos nombrados “Coordenada X”, “Coordenada Y” y “Coordenada Z”.

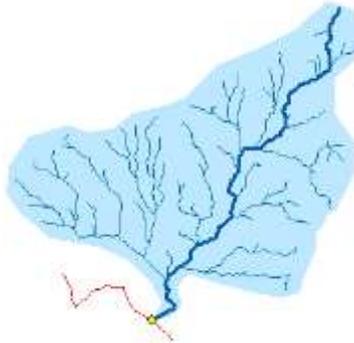
Figura 4-26: Parámetros morfométricos de la cuenca

	Área km2	Perimetro km	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
	67.0702	38.5089	1024.95	1062.16	2785

Fuente: Elaboración propia

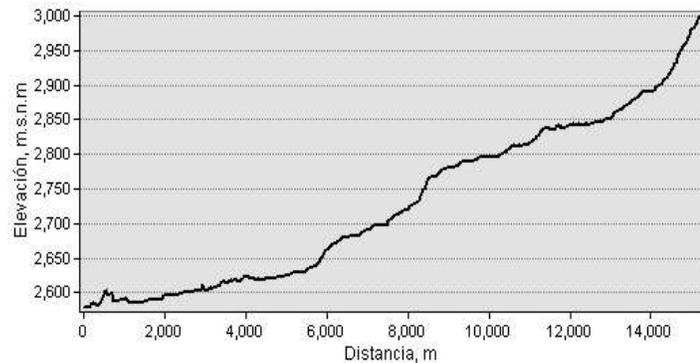
Por otro lado, se determinó el cauce principal de la cuenca, el cual se ilustra en la **Figura 4-27**, a partir de una línea azul de mayor grosor la cual corresponde a la línea de flujo de mayor longitud dentro de la cuenca y la que recolecta los caudales de las líneas de flujo de menor orden. La **Figura 4-28**, representa el perfil longitudinal del respectivo cauce, donde se evidencia que a medida que se va alejando del punto de captación, la elevación va aumentando en igual proporción.

Figura 4-27: Cauce principal de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-28: Perfil longitudinal del cauce principal



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, al determinar la longitud del cauce principal mediante las herramientas del software, se procedió a calcular la pendiente y tiempo de concentración mediante las ecuaciones mencionadas en la metodología del capítulo 3. El resultado de longitud registrado en la **Figura 4-29**, se relaciona con el evidenciado en el perfil longitudinal, y de este depende el tiempo que tarda en recorrer una gota de agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de captación.

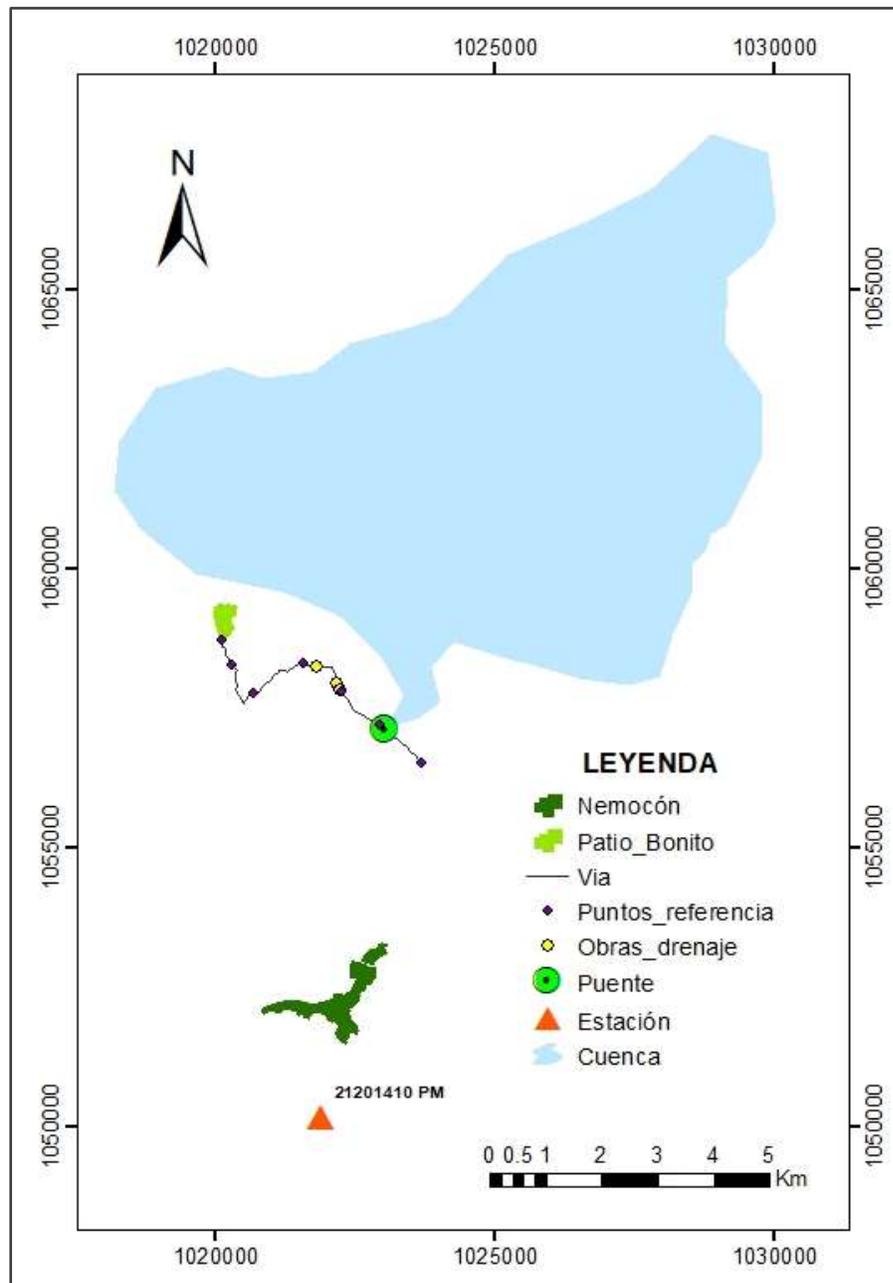
Figura 4-29: Parámetros morfométricos del cauce principal

Cota máx	Cota mín	Longitud m	Pendiente %	Tiempo concentracion min
2576	3178	15163.2	3.97	112

Fuente: Elaboración propia

El resultado final de la cuenca delimitada se ilustra en la **Figura 4-30**, además, se genera una representación visual y cartográfica de la vía con respecto al casco urbano de Nemocón y el centro poblado Patio Bonito. Así mismo, se evidencia la ubicación de la estación pluviométrica seleccionada, la cual se encuentra afuera y alejada de la cuenca en estudio.

Figura 4-30: Resultado final del análisis hidrológico en Nemocón



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Curvas IDF

Teniendo en cuenta que la estación hidrometeorológica está ubicada fuera de la cuenca en estudio, se determinaron las curvas IDF aplicando el Método Sintético. Las ecuaciones que caracterizan este método y que están propuestas para el territorio colombiano, dependen de parámetros pluviométricos (M , N y PT) calculados según los datos históricos sobre el comportamiento de las precipitaciones en el municipio de Nemocón proporcionados por la estación ACANDY. Al promediar el resultado anual por cada parámetro, se obtuvieron los siguientes valores:

- ❖ Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria: $M = 37$
- ❖ Número de días con lluvia al año: $N = 136$
- ❖ Precipitación media anual: $PT = 67$

Por otro lado, como se menciona en el capítulo 3 sobre la generación de las curvas sintéticas IDF, la región donde se ubica la estación ACANDY corresponde a la Andina (R1), y por esta razón, se establecieron los valores enunciados en la **Tabla 3-4** que conforman las 3 ecuaciones empíricas propuestas para Colombia (**Ec. 3, 4 y 5**). Al aplicar las ecuaciones que según la literatura de Vargas & Diaz-Granados se identifican como ecuación 8, ecuación 9 y ecuación 11, para periodos de retorno entre 2 y 100 años, y para duraciones de lluvia entre 15 y 360 minutos, se obtuvieron los siguientes resultados:

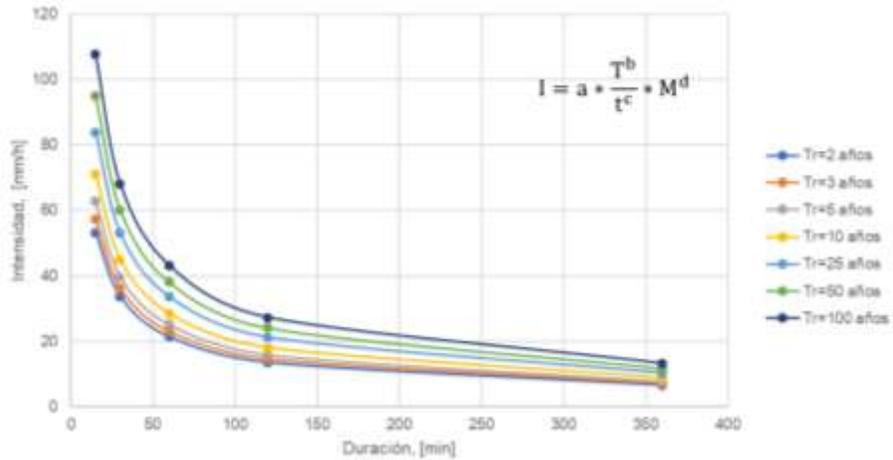
▪ Ecuación 8:

Tabla 4-3: Valores de intensidad aplicando ecuación 8

t, minutos	T, años						
	2	3	5	10	25	50	100
15	53.21	57.24	62.76	71.10	83.84	94.99	107.61
30	33.68	36.23	39.72	45.00	53.06	60.11	68.10
60	21.31	22.93	25.14	28.48	33.58	38.05	43.10
120	13.49	14.51	15.91	18.02	21.25	24.08	27.28
360	6.53	7.03	7.70	8.73	10.29	11.66	13.21

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-31: Curva sintética IDF para Nemocón aplicando ecuación 8



Fuente: Elaboración propia

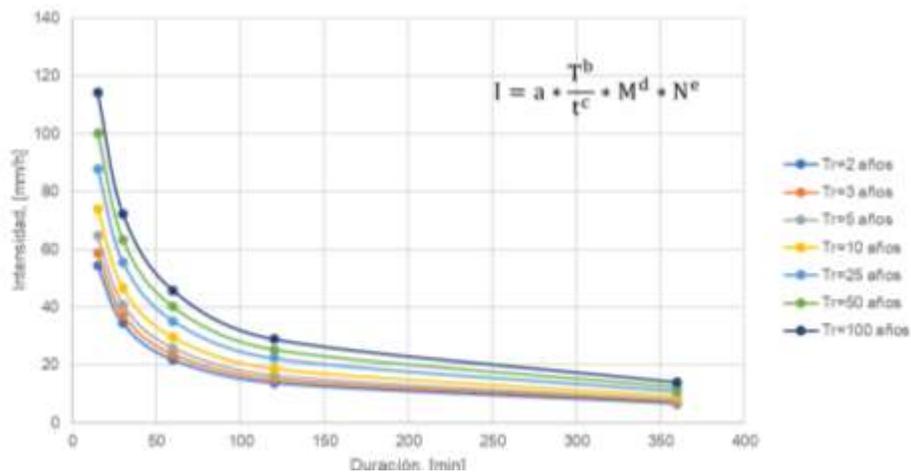
▪ **Ecuación 9:**

Tabla 4-4: Valores de intensidad aplicando ecuación 9

t, minutos	T, años						
	2	3	5	10	25	50	100
15	54.40	58.76	64.75	73.86	87.91	100.28	114.40
30	34.43	37.19	40.98	46.74	55.63	63.46	72.40
60	21.79	23.53	25.93	29.58	35.21	40.17	45.82
120	13.79	14.89	16.41	18.72	22.28	25.42	29.00
360	6.68	7.21	7.95	9.07	10.79	12.31	14.04

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-32: Curvas sintéticas IDF para Nemocón aplicando ecuación 9



Fuente: Elaboración propia

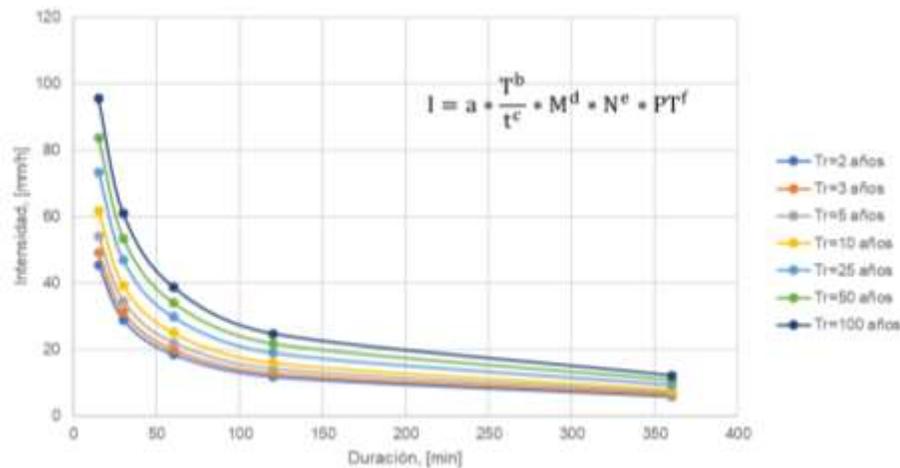
▪ **Ecuación 11:**

Tabla 4-5: Valores de intensidad aplicando ecuación 11

t, minutos	T, años						
	2	3	5	10	25	50	100
15	45.40	49.04	54.04	61.64	73.37	83.69	95.48
30	28.93	31.25	34.44	39.28	46.76	53.34	60.84
60	18.44	19.92	21.95	25.04	29.80	33.99	38.78
120	11.75	12.69	13.99	15.95	18.99	21.66	24.71
360	5.75	6.21	6.85	7.81	9.30	10.61	12.10

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-33: Curvas sintéticas IDF para Nemocón aplicando ecuación 11



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las curvas sintéticas IDF obtenidas para el municipio de Nemocón, se analiza que estas presentan un comportamiento real aplicando las 3 ecuaciones de la literatura de Vargas y Diaz-Granados debido a que, en primer lugar, se elaboraron mediante 38 años de información pluviométrica, y segundo, la región de estudio (R1) es la que mayores niveles de confiabilidad tiene con respecto a las otras. Sin embargo, según los resultados obtenidos por las diferentes curvas IDF, se observa que los valores de intensidad más altos se presentan mediante la ecuación 9 donde se involucran tanto el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria como el número de días con lluvia al año. El valor obtenido mediante el promedio de las lluvias registradas en los 12 meses del año incorporado en la ecuación 11, representó una disminución de la intensidad de las lluvias, es decir que, a pesar de que se registraron varios días del año con lluvias, el espesor de la lámina de agua que se formó no fue realmente significativo.

4.1.5 Caudal máximo

De acuerdo con la **Figura 4-26**, la cuenca en estudio tiene un área de 67,1 km², por lo tanto, como se enuncia en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, cuando el área de drenaje es mayor a 2,5 km², se debe aplicar el Método del Hidrograma Unitario para determinar el caudal máximo. Además, en la capa geográfica PUENTES se registró que el puente Checua posee una luz de 15 m, por lo tanto, se halla la tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años, como se enuncia en la **Figura 4-34**.

Figura 4-34: Periodo de retorno según el tipo de obra [5]

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: INVIAS “Manual de Drenaje para Carreteras”, 2009

Uno de los requisitos para determinar el caudal máximo de la cuenca a partir del Método SCS, es definir la tormenta de diseño para el periodo de retorno correspondiente aplicando el Método del Bloque Alterno. A continuación, se presentan los resultados de precipitación para un rango entre 15 y 360 minutos, según la ecuación:

▪ **Ecuación 8:**

Tabla 4-6: Bloque alternativo aplicando ecuación 8

t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alternativo (mm)
15	94.99	23.75	23.75	1.03

t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alterno (mm)
30	60.11	30.06	6.31	1.10
45	46.00	34.50	4.44	1.18
60	38.05	38.05	3.55	1.27
75	32.84	41.04	3.00	1.38
90	29.11	43.67	2.62	1.52
105	26.30	46.02	2.35	1.71
120	24.08	48.16	2.14	1.97
135	22.28	50.12	1.97	2.35
150	20.78	51.95	1.83	3.00
165	19.51	53.66	1.71	4.44
180	18.42	55.27	1.61	23.75
195	17.48	56.80	1.52	6.31
210	16.64	58.25	1.45	3.55
225	15.90	59.63	1.38	2.62
240	15.24	60.95	1.32	2.14
255	14.64	62.22	1.27	1.83
270	14.10	63.44	1.22	1.61
285	13.60	64.62	1.18	1.45
300	13.15	65.76	1.14	1.32
315	12.73	66.86	1.10	1.22
330	12.35	67.92	1.07	1.14
345	11.99	68.96	1.03	1.07
360	11.66	69.96	1.01	1.01

Fuente: Elaboración propia

▪ **Ecuación 9:**

Tabla 4-7: Bloque alterno aplicando ecuación 9

t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alterno (mm)
15	100.28	25.07	25.07	1.09
30	63.46	31.73	6.66	1.16
45	48.56	36.42	4.69	1.24
60	40.17	40.17	3.74	1.34
75	34.67	43.33	3.17	1.46
90	30.73	46.10	2.77	1.61
105	27.76	48.58	2.48	1.81
120	25.42	50.84	2.26	2.08
135	23.52	52.92	2.08	2.48
150	21.94	54.85	1.93	3.17
165	20.60	56.65	1.81	4.69

t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alterno (mm)
180	19.45	58.35	1.70	25.07
195	18.45	59.96	1.61	6.66
210	17.57	61.49	1.53	3.74
225	16.79	62.95	1.46	2.77
240	16.09	64.35	1.40	2.26
255	15.46	65.69	1.34	1.93
270	14.88	66.98	1.29	1.70
285	14.36	68.22	1.24	1.53
300	13.88	69.42	1.20	1.40
315	13.44	70.58	1.16	1.29
330	13.04	71.71	1.13	1.20
345	12.66	72.80	1.09	1.13
360	12.31	73.86	1.06	1.06

Fuente: Elaboración propia

▪ **Ecuación 10:**

Tabla 4-8: Bloque alterno aplicando ecuación 11

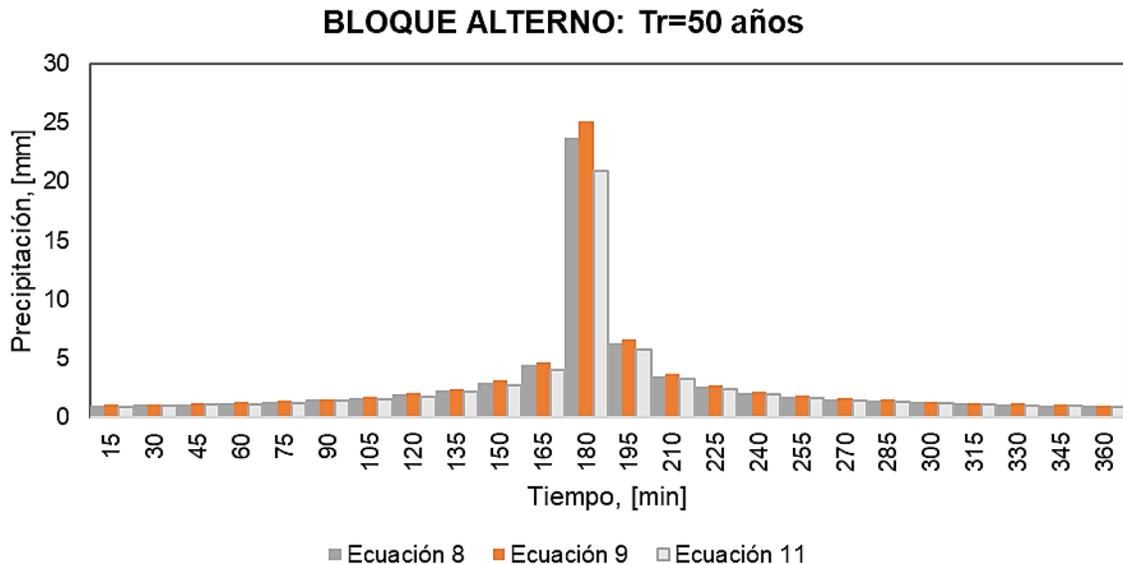
t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alterno (mm)
15	83.69	20.92	20.92	0.97
30	53.34	26.67	5.74	1.03
45	40.98	30.73	4.07	1.10
60	33.99	33.99	3.26	1.18
75	29.40	36.75	2.76	1.29
90	26.12	39.17	2.42	1.42
105	23.63	41.34	2.17	1.59
120	21.66	43.32	1.98	1.82
135	20.07	45.15	1.82	2.17
150	18.74	46.84	1.70	2.76
165	17.61	48.43	1.59	4.07
180	16.64	49.93	1.50	20.92
195	15.80	51.35	1.42	5.74
210	15.06	52.70	1.35	3.26
225	14.40	53.98	1.29	2.42
240	13.80	55.22	1.23	1.98
255	13.27	56.40	1.18	1.70
270	12.79	57.54	1.14	1.50
285	12.35	58.64	1.10	1.35
300	11.94	59.70	1.06	1.23

t (min)	I (mm/h)	P acumulada (mm)	P parcial (mm)	Bloque alterno (mm)
315	11.57	60.73	1.03	1.14
330	11.22	61.73	1.00	1.06
345	10.90	62.70	0.97	1.00
360	10.61	63.64	0.94	0.94

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos de las tablas anteriores (**Tabla 4-6**, **Tabla 4-7** y **Tabla 4-8**), en la **Figura 4-35** se comparan los resultados obtenidos de la tormenta de diseño, donde se evidencia que al utilizar la ecuación 9 se presenta la precipitación máxima con un valor de 25,07 mm, lo cual era lo esperado, puesto que por medio de dicha ecuación se obtuvieron las intensidades más altas, y este parámetro está directamente relacionado con la precipitación, tal como se expresa en la fórmula $P [mm] = I * t$.

Figura 4-35: Comparación de los bloques alternos obtenidos por cada ecuación

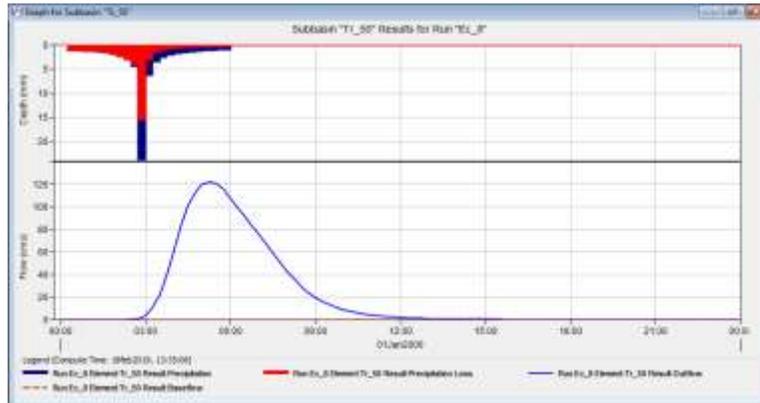


Fuente: Elaboración propia

▪ **Resultado final:**

De igual manera, se determinó el hidrograma unitario por cada ecuación propuesta, aún sabiendo que, según los resultados obtenidos anteriormente, el caudal pico de mayor magnitud se presentaría aplicando la ecuación 9. Por lo tanto, los datos exportados por el software HEC-HMS, se presentan a continuación:

Figura 4-36: Hidrograma unitario aplicando ecuación 8



Fuente: Elaboración propia

ECUACIÓN 8

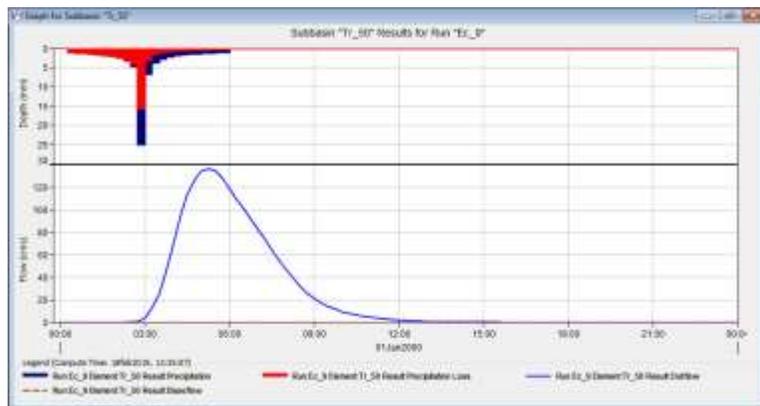
Caudal pico: 121,9 m³/s

Volumen de precipitación: 69,97 mm

Perdidas de volumen: 46,19 mm

Exceso de volumen: 23,78 mm

Figura 4-37: Hidrograma unitario aplicando ecuación 9



Fuente: Elaboración propia

ECUACIÓN 9

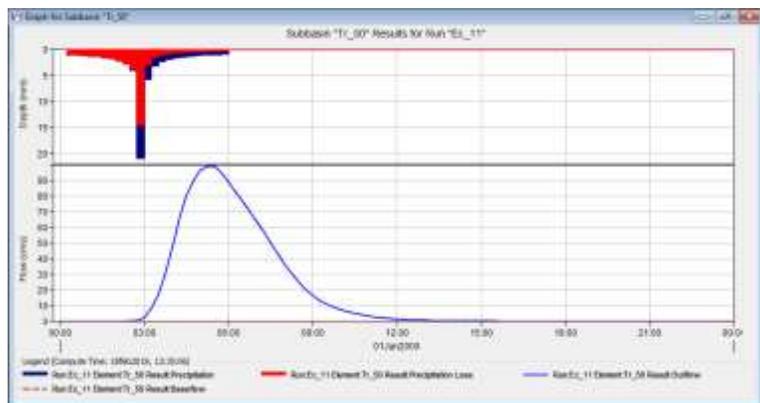
Caudal pico: 136,1 m³/s

Volumen de precipitación: 73,87 mm

Perdidas de volumen: 47,42 mm

Exceso de volumen: 26,45 mm

Figura 4-38: Hidrograma unitario aplicando ecuación 11



Fuente: Elaboración propia

ECUACIÓN 11

Caudal pico: 99,0 m³/s

Volumen de precipitación: 63,64 mm

Perdidas de volumen: 44,03 mm

Exceso de volumen: 19,61 mm

Los datos obtenidos mediante el HEC-HMS, hacen referencia al caudal pico obtenido en un tiempo de retardo o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el pico del hidrograma unitario [26], además, a la altura de la lámina de agua recogida en una superficie plana, y a las respectivas pérdidas y excesos de lluvia. De acuerdo con lo anterior, se observa que efectivamente, la ecuación 9 presenta mayores valores con respecto a los diferentes parámetros enunciados, y se puede analizar, que el caudal pico obtenido por dicha ecuación, es un dato admitido debido a la extensión de la cuenca y las condiciones pluviométricas de la zona.

Para determinar si las dimensiones del Puente Checua son las adecuadas para captar la demanda de agua del río Checua, se toma en cuenta el caudal pico de $136.1 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenido mediante la ecuación 9, ya que al ser el dato más grande de los 3 resultantes, se consideró como valor crítico para definir si la estructura hidráulica en estudio es funcional o no para las circunstancias de la zona. De igual manera, se calculó el área del puente cuya longitud es de 15 m y altura de 5,3 m dando como resultado una sección transversal de $79,5 \text{ m}^2$. Por lo tanto, mediante la fórmula $Q = v * A$, se despeja v y se determina que la velocidad del cauce es de 1,7 m/s.

El valor obtenido de la velocidad está dentro del rango típico para ríos de mucho caudal y pendiente acentuada [$1,5 - 2,0 \text{ m/s}$], sin embargo, es necesario verificar mediante datos históricos y otros métodos de medición de la velocidad del flujo de agua. No obstante, como se utilizó el valor más grande para el análisis, se está sobrestimando la cantidad de agua que debe captar la obra hidráulica, por lo tanto, si la estructura es viable para el caso más crítico (ecuación 9), lo será para los otros casos (ecuación 8 y ecuación 11). En consecuencia, con el análisis realizado se planea evitar fallas en el funcionamiento del Puente Checua cuando se presenten eventos extremos como el fenómeno de la Niña, característico en ciertas épocas del año en Colombia, los cuales pueden afectar el nivel de servicio de la vía 25-486-VT10, y así mismo, la seguridad de los usuarios y la calidad de vida de los habitantes de Nemocón, en caso de obstrucciones.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El levantamiento de los 5,7 km de la vía 25-486-VT10 en Nemocón se realizó mediante 2 registros: el 5 de diciembre de 2018 se levantaron 3,2 km durante 4 horas, y el 18 de diciembre de 2018, 2,5 km en 2 horas, aproximadamente. Los factores que influyeron en la obtención de un rendimiento de 0.95 km/h en el trabajo de campo fueron; la implementación de un equipo topográfico de última tecnología, la conformación y caracterización de la vía y la cooperación del equipo de trabajo. Por lo tanto, contar con un equipo topográfico R8S y una buena capacitación técnica ayuda a optimizar los tiempos del levantamiento en campo y, adicionalmente, a reducir el porcentaje de error en la precisión para la toma de la información georreferenciada.

El reporte de la red vial terciaria que deben realizar las entidades territoriales del país es sencillo y rápido, debido a que la mayoría de las vías de tercer orden no están conformadas por todos los elementos estipulados en la metodología del SINC. En primer lugar, las vías nacionales y departamentales son en las que se observan frecuentemente puentes, muros y túneles, y sobre todo, desde el último periodo de gobierno en el que se implementó la ideología de las vías de cuarta generación. Por otro lado, en cuanto a obras de drenaje, las vías terciarias generalmente no cuentan con dichas estructuras, lo cual puede considerarse como una de las razones que afectan su nivel de servicio, y en consecuencia, la seguridad y confort de los usuarios que transitan por estas zonas del país.

Cuando no se dispone de una estación hidrometeorológica dentro de la cuenca de estudio, el método sintético propuesto por Vargas & Diaz Granados, resulta ser ideal para conocer el comportamiento pluviométrico de una zona, ya que brinda altos niveles de confiabilidad en sus resultados, sobre todo cuando la estación se ubica en la región Andina, y se cuenta

con una serie amplia de datos históricos. Por lo tanto, se considera que las curvas IDF obtenidas para el municipio de Nemocón pueden ser implementadas por dicha entidad territorial, para analizar la capacidad de las obras de drenaje que conforman su red vial e intervenir si el resultado lo considera necesario. En efecto, al realizar los estudios y mediciones necesarias, los usuarios podrán transitar por las veredas del municipio o entre los municipios aledaños, sin verse afectados en temporadas de lluvias.

Finalmente, se considera importante capacitar y brindar apoyo técnico a los municipios del país para que puedan contribuir con la sistematización de la información del SINC, puesto que estos datos permiten a los entes del sector de infraestructura vial, aproximarse más a la realidad de las carreteras del país, conocer su estado e importancia, y de alguna manera, intervenir e invertir en proyectos de rehabilitación, mantenimiento o refuerzos de los tramos viales que lo requieran. Por lo tanto, la alternativa planteada por el Ministerio de Transporte para gestionar y controlar el estado de la red vial de todo el territorio colombiano mediante la plataforma del SINC, es bastante buena, sobre todo para las entidades territoriales, ya que las vías de tercer orden no cuentan con inspección constante y son las que se encuentran en peor estado. Es decir, mediante la información reportada al SINC se pretende analizar conjuntamente como se encuentran las diferentes carreteras del país y no continuar abandonando muchas de las regiones que influirían en el desarrollo económico y social de Colombia.

5.2 Recomendaciones

Para la ubicación de los puntos referentes a las fotografías de la vía y los PRS que se obtienen durante el levantamiento del tramo vial, se deben utilizar otros instrumentos con menor porcentaje de error en la medición de distancias, con el fin de obtener resultados más cercanos a los establecidos desde el inicio.

Aprovechar la disponibilidad de los equipos topográficos R8s en la Universidad Militar Nueva Granada, para prestar servicios de extensión a los municipios del país y asistir a las entidades territoriales en el levantamiento y procesamiento de la información vial para reportar en el SINC antes del plazo establecido. Así mismo, para generar fuentes de

ingreso a la UMNG mediante capacitaciones y apoyo técnico y operacional hacia los municipios del país que requieran de dicho servicio.

Identificar las diferentes estaciones hidrometeorológicas del país, para seleccionar correctamente la estación ideal en ubicación e información histórica según la región de estudio. Lo anterior, para garantizar resultados certeros sobre el comportamiento pluviométrico de la zona en cuestión.

Cada una de las entidades territoriales del país debe disponer de los archivos shapefile del componente general del territorio relacionado con los diferentes cuerpos hídricos, redes viales y distribución de suelos dentro del área municipal como elementos base para realizar efectivamente la metodología establecida en el presente documento mediante las herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

Bibliografía

- [1] DPN (2018). Mejoramiento de vías terciarias – vías de tercer orden. Versión 1.0.
- [2] DPN (2016). CONPES No. 3857 del 25-04-2016. Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria.
- [3] Ministerio de Transporte (2013). Resolución 1860 del 29-05-2013. Metodología para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras – SINC v2.
- [4] Ministerio de Transporte (2018). Resolución 1321 del 30-04-2018. Metodología para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras – SINC v3.
- [5] INVIAS (2009). Manual de drenaje para carreteras. Aspectos generales. Bogotá.
- [6] UNAL e INVIAS (2006). Manual para la Inspección visual de Estructuras de Drenaje. Control de obras de drenaje superficial.
- [7] Urrutia Barletta F. (2015). Infraestructura vial y competitividad en Colombia. Trabajo de grado del programa de administración y negocios. Universidad de San Buenaventura.
- [8] Ministerio de Transporte (2018). Resolución 1322 del 30-04-2018. Guía para realizar la categorización de la red vial nacional.
- [9] Geraldí A., Piccolo M. & Perillo G. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones geográficas*; 52:215-225.
- [10] Campos Aranda D. (2012). Curvas IDF. Contraste de un método regional de estimación de curvas IDF en la planicie costera de Tabasco, México. *Agrociencia*: 46 (7).
- [11] Acosta P. & Sierra L. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste. *Revista facultad de Ingeniería, Universidad Santo Tomás, sede Tunja*; 22(35):25-33.
- [12] Brown O., Gallardo Y. & Valdés J. (2013). Curvas IDF. Curva de intensidad frecuencia y duración de inundaciones (IFD) para el municipio Venezuela, provincia Ciego de Ávila, Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*; 22.

- [13] I. Osorio. (2014). Reseña histórica de las vías en Colombia. Ingeniería Solidaria, vol. 10, no. 17, pp. 183-187, en.-dic., 2014. En línea: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v10i17.880>.
- [14] Rincón H, Acosta M & Alarcón P. (2017). Análisis de la cantidad y el estado de las vías terciarias en Colombia y la oportunidad de la ingeniería civil para su construcción y mantenimiento. Trabajo de grado por el título de ingeniero civil. Universidad Católica de Colombia.
- [15] Suárez J. (s.f). Efectos de las lluvias en las vías. Curso estabilidad de taludes. Universidad de Cartagena. Bucaramanga – Colombia.
- [16] Ministerio de Transporte (2019). Sistema Integral Nacional de Carreteras - SINC. Avance inventarios. En línea: <http://sinc.mintransporte.gov.co/visores/#>.
- [17] Geomatics Land Surveying (2018). Equipo de levantamiento Trimble. Fotografía GNSS R8S. En línea: <https://geomaticslandsurveying.com/>
- [18] Trimble (2018). Información de productos geoespaciales. Trimble TSC3 Colector. En línea: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tsc3>
- [19] Earth Explorer (2018). Descargar Modelos de Elevación Digital – DEM. DEM de 30 m en Colombia. En línea: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- [20] IDEAM (2014). Información hidrometeorológica. Ubicación y caracterización de las estaciones. En línea: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- [21] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2019). Portal datos abiertos. Precipitaciones Máximas 24 Horas. En línea: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Precipitaciones-Maximas-24-Horas/3smt-jdza/data>
- [22] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2019). Portal datos abiertos. Número de Días con Precipitación. En línea: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/N-mero-de-d-as-con-precipitaci-n/jhyk-8pw6/data>
- [23] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2019). Portal datos abiertos. Precipitaciones Totales Mensuales. En línea: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Precipitaciones-Totales-Mensuales/mb4n-6m2g/data>
- [24] Vargas M. & Diaz-Granados. (1998). Ecuaciones para estimar las curvas IDF para Colombia. Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Bogotá D.C. – Colombia.
- [25] Ven Te Chow, Maidment & Mays (1994). Hidrología aplicada. Agua superficial. Capítulo 5, Hidrograma de caudal. Pág. 135 Editorial: McGRAW – HILL
- [26] Hidrología (s.f). Hidrograma unitario sintético. Método del servicio de conservación de suelos – Procedimiento. En línea: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf>