

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRAÚLICA Y SOCAVACIÓN DE OBRAS MENORES

**MEJORAMIENTO DE LA VÍA
YOTOCO -BUENOS AIRES -EL DORADO
EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES -
CASCO URBANO DE YOTOCO Y DE UN TRAMO
DE LA VÍA MUÑECOS -CORDOBITAS EN
YOTOCO VALLE DEL CAUCA**

OCTUBRE DE 2022

Iniciativa presentada por:

AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3

AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6

PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9

ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

**CONSULTORÍA
ELSA CAMPO LÓPEZ
INGENIERA CIVIL**



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GENERAL	8
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
3. PROCESO DE DISEÑO	10
3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	10
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA ESTRUCTURA	11
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. TRABAJOS DE CAMPO.....	12
4.2. ESTADO ACTUAL DE LOS TRAMOS DE INTERVENCIÓN.....	13
4.2.1. TRAMO N°1.	13
4.2.2. TRAMO N°2.	18
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	20
5.1. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS E HIDROLÓGICAS	20
5.2. ANALISIS DATOS DE LLUVIAS ESTACIONES	23
5.2.1. ESTACION BOSQUES DE YOTOCO AUT [26315010].....	24
5.2.2. ESTACION BUENOS AIRES [26080240]	28
5.2.3. ESTACION YOTOCO - AUT [26085180]	34
5.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
5.3.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (MM).....	40
5.3.2. NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA	41
5.3.3. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (C°).....	41
5.3.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	42
5.4. CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE, GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	43
5.5. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO	47
5.6. PARAMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES	48
5.6.1. PERIODO DE RETORNO	48
5.6.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	49

5.6.3.	AREAS DE DRENAJE	51
5.6.4.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	57
5.7.	METODOLOGIAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES	62
5.7.1.	MÉTODO RACIONAL.....	63
6.	ESTUDIO HIDRAÚLICO	71
6.1.	INVENTARIO DE OBRAS EXISTENTES.....	72
6.2.	METODOLOGÍA.....	74
6.3.	ESTRUCTURAS DE DRENAJE, CRITERIOS DE DISEÑO Y LOCALIZACIÓN.....	75
6.3.1.	BOMBEO	75
6.3.2.	CUNETAS.....	76
6.3.3.	ALCANTARILLAS	82
6.3.4.	FILTROS.....	85
6.3.5.	DISIPADORES DE ENERGIA.....	88
7.	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	90
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

LISTADO DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Intensidad Método Simplificado.....</i>	26
<i>Ecuación 2. Intensidad Método Simplificado.....</i>	31
<i>Ecuación 3. Intensidad Método Simplificado.....</i>	37
<i>Ecuación 4. Ecuación de Kirpich.....</i>	57
<i>Ecuación 5. Ecuación de Temez.....</i>	58
<i>Ecuación 6. Ecuación de Williams</i>	58
<i>Ecuación 7. Ecuación de Johnstone y Cross</i>	58
<i>Ecuación 8. Ecuación de Giandotti</i>	58
<i>Ecuación 9. Ecuación de SCS – Ranser.....</i>	58
<i>Ecuación 10. Ecuación de Ventura - Heras.....</i>	59
<i>Ecuación 11. Ecuación de Ven Te Chow.....</i>	59
<i>Ecuación 12. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos</i>	59
<i>Ecuación 13. Ecuación de Hathaway</i>	59
<i>Ecuación 14. Ecuación de Izzard.....</i>	60
<i>Ecuación 15. Ecuación de Federal Aviation Administration</i>	60
<i>Ecuación 16. Ecuación de la Onda Cinemática</i>	60

<i>Ecuación 17. Ecuación de retardo de SCS.....</i>	<i>61</i>
<i>Ecuación 18. Ecuación de George Rivero.....</i>	<i>61</i>
<i>Ecuación 19. Método de la Velocidad del SCS.....</i>	<i>61</i>
<i>Ecuación 20. Tasa de infiltración.....</i>	<i>86</i>
<i>Ecuación 21. Profundidad crítica.....</i>	<i>88</i>

LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1 Sección transversal de vía - bombeo.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 2 Sección transversal tipo tramo 1.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3 Sección transversal tipo tramo 2.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4 Secciones típicas de cunetas.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5 Sección cuneta tipo 1.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 6 Sección tipo vía.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 7 Sección típica de cuneta en el tramo.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 8 Esquema básico para el diseño de disipadores.....</i>	<i>88</i>

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1. Estado actual del tramo de intervención – K2+570.....</i>	<i>14</i>
<i>Fotografía 2. Sección del tramo inicial de estudio.....</i>	<i>14</i>
<i>Fotografía 3. Sección del tramo inicial de estudio.....</i>	<i>15</i>
<i>Fotografía 4. Estado actual del tramo de intervención.....</i>	<i>16</i>
<i>Fotografía 5. Estado actual del tramo de intervención.....</i>	<i>16</i>
<i>Fotografía 6. Estado actual del tramo de intervención.....</i>	<i>16</i>
<i>Fotografía 7. Vegetación y material de los taludes.....</i>	<i>17</i>
<i>Fotografía 8. Estado del tramo de intervención.....</i>	<i>18</i>
<i>Fotografía 9. Estado del tramo de intervención sector inicial.....</i>	<i>18</i>
<i>Fotografía 10. Estado del tramo de intervención.....</i>	<i>19</i>
<i>Fotografía 11. Localización del box culvert existente.....</i>	<i>19</i>

LISTADO DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1. Precipitación media mensual multianual estación Bosques de Yotoco.....</i>	<i>25</i>
<i>Gráfica 2. Curvas IDF asociadas a la estación Bosques de Yotoco.....</i>	<i>28</i>
<i>Gráfica 3. Precipitación media mensual multianual estación Buenos Aires.....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfica 4. Curvas IDF asociadas a la estación Buenos Aires.....</i>	<i>34</i>

Gráfica 5. Precipitación media mensual multianual estación Yotoco Aut.....	36
Gráfica 6. Curvas IDF asociadas a la estación Yotoco Aut.....	39

LISTADO DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Ubicación del sitio de proyecto en el marco regional del Valle del Cauca y su relación con las poblaciones cercanas más importantes- Fuente Google Earth.....</i>	11
<i>Ilustración 2. Localización general de los tramos de intervención.....</i>	12
<i>Ilustración 3 Mapa de precipitación total anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM.....</i>	40
<i>Ilustración 4 Mapa de número de días con lluvia total anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM.....</i>	41
<i>Ilustración 5 Mapa de Temperatura media anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM.....</i>	42
<i>Ilustración 6 Mapa de Clasificación Climatológica, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM.....</i>	42
<i>Ilustración 7 Ubicación de los tramos en estudio dentro del área de influencia del Municipio de Yotoco- Fuente Google Earth.....</i>	43
<i>Ilustración 8 Mapa de unidades geológicas para ingeniería del tramo 1- Fuente Estudio de Suelos para pavimentos.....</i>	44
<i>Ilustración 9 Mapa de unidades geológicas para ingeniería del tramo 2- Fuente Estudio de Suelos para pavimentos.....</i>	45
<i>Ilustración 10 Mapa Geológico de la zona de estudio, Departamento del Valle del Cauca - Ingeominas.....</i>	46
<i>Ilustración 11 Mapa de susceptibilidad por coberturas de la tierra Plancha 280 – Palmira, Departamento del Valle del Cauca - Ingeominas.....</i>	48

LISTADO DE IMÁGENES

<i>Imagen 1. Localización del municipio de Yotoco en el departamento del Valle del Cauca</i>	10
<i>Imagen 2 Estaciones pluviométricas e hidrológicas municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca</i>	22
<i>Imagen 3. Localización de la Estación Bosque de Yotoco</i>	24
<i>Imagen 4. Localización de la Estación Buenos Aires.....</i>	29
<i>Imagen 5. Localización de la Estación Yotoco Aut.....</i>	35

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1 Estaciones pluviométricas e hidrológicas municipio del Yotoco, Departamento del Valle del Cauca.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2 Estaciones hidrológicas municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3. Datos generales estación Bosques de Yotoco</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Bosques de Yotoco.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6 Precipitaciones máximas en 24h, estación Bosques de Yotoco</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Bosques de Yotoco.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8. Datos generales estación Buenos Aires</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 9 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Buenos Aires.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 10 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11 Precipitaciones máximas en 24h, estación Buenos Aires</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 12 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Buenos Aires</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 13. Datos generales estación Yotoco Aut.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 14 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Yotoco Aut.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 15 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 16 Precipitaciones máximas en 24h, estación Yotoco Aut.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 17 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Yotoco Aut</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 18 Unidades de geología para ingeniería para los sectores de estudio.- Fuente Estudio de Suelos para pavimentos</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 19 Periodos de retorno según tipo de obra. Fuente: Invias 2009.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 20 Coeficientes de Escorrentía. Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras Invias</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 21. Áreas aferentes drenajes tramo 1</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 22. Áreas aferentes drenajes tramo 2</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 23 Factor de rugosidad Ecuación de Hathaway.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 24 Velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 25 Caudales de diseño tramo 1.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 26 Caudales de diseño tramo 2.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 27 Estructuras de drenaje existentes tramo 1</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 28 Estructuras de drenaje existentes tramo 2</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 29 Chequeo hidráulico sección cuneta tipo tramo 1.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 30 Chequeo hidráulico sección cuneta tipo tramo 2.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 31 Chequeo hidráulico tramo a tramo de cunetas, tramo 1.....</i>	<i>79</i>

<i>Tabla 32 Chequeo hidráulico tramo a tramo de cunetas, tramo 2</i>	80
<i>Tabla 33 Parámetros y características hidráulicas de la sección de cuneta tipo 2</i>	81
<i>Tabla 34 Velocidades Máximas permisibles de acuerdo con material de construcción</i>	83
<i>Tabla 35 Chequeos hidráulicos</i>	84
<i>Tabla 36. Caudal drenaje por infiltración tramo 1</i>	87
<i>Tabla 37. Caudal drenaje por infiltración tramo 2</i>	87
<i>Tabla 38 Disipadores proyectados tramo 1</i>	89

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el ser humano ha buscado la manera más adecuada y segura de trasladarse desde un punto hasta otro con el objetivo de poder hacer intercambio de mercancías, turismo entre otros objetivos personales; lo cual ha llevado a mejorar la infraestructura vial; sin embargo, este objetivo va más allá de la satisfacción de necesidades básicas; el mejoramiento de la infraestructura vial conlleva al mejoramiento de la calidad de vida de una comunidad y en general de la región a la cual pertenece, porque brinda la posibilidad de poder movilizarse de una forma rápida, segura y cómoda.

Por medio del presente estudio se pretende mejorar la calidad de vida de la población del municipio de Yotoco en el departamento del Valle del Cauca en la vía que comunica a los corregimientos del casco urbano del municipio de Yotoco – Crucero Buenos Aires y el tramo vial de Muñecos - Cordobitas en los cuales se desarrollará el proyecto de “MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS - CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA” en el municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca en dos tramos, el primer tramo entre el PR2+570 al PR10+298 y el segundo tramo entre el PR0+000 al PR0+834.28, mediante el cual no solo se busca mejorar los tiempos de duración de los viajes, sino también mejorar la transitabilidad, seguridad y comodidad en cada uno de los tramos viales para los diferentes usuarios; lo que a su vez ayudará al crecimiento de la comunidad en términos de desarrollo social, cultural, productivo y de competitividad; teniendo en cuenta que el mejoramiento de la infraestructura vial dentro de una región tiene una relación directa para el crecimiento de la misma.

El presente documento contiene el componente del Estudio y Diseño de Hidrología, Hidráulica y Socavación de las obras menores de drenaje y sub drenaje en el caso en el que se requieran con el objetivo de proteger y mantener la estructura de pavimento en condiciones óptimas de servicio a lo largo de su vida útil. El aspecto de hidrología, hidráulica y socavación se encuentra orientados en la búsqueda y obtención de las variables requeridas y los criterios técnicos necesarios que permitan el diseño detallado de las obras de arte y las obras complementarias necesarias dentro del tramo vial.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el Estudio Hidrológico, Hidráulico y de Socavación para las obras menores y el diseño detallado de las estructuras de drenaje para el proyecto el proyecto “MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS - CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA” en el municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca en dos tramos, el primer tramo entre el PR2+570 al PR10+298 y el segundo tramo entre el PR0+000 al PR0+834.28; además de las estructuras complementarias que se requieran para el adecuado funcionamiento de las mismas de tal manera que en el momento de la construcción se pueda materializar el diseño propuesto.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Alcance Estudio Hidrológico:

- Realizar el estudio hidrológico del sector a intervenir de acuerdo con los registros de las estaciones pluviométricas o hidrometeorológicas existentes para los últimos años.
- Determinar los parámetros básicos esenciales para el dimensionamiento de las obras como son: el tiempo de concentración, áreas aferentes a cada obra a implementar, intensidades de precipitación en la zona de estudio.
- Determinar las características climatológicas básicas de la zona de estudio como son: el número de días de lluvias, precipitación media anual, temperatura media, características climatológicas entre otros aspectos necesarios para el estudio.
- Determinar las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para la estación o estaciones de estudio teniendo como base los datos correspondientes a las mismas.

Alcances Estudio Hidráulico

- Determinar los caudales de diseño para cada una de las obras de drenaje a implementar, teniendo como base las intensidades y periodos de diseño determinados para cada caso.
- Localizar de manera adecuada las estructuras existentes, además de localizar los drenajes naturales existentes donde sea necesario implementar una estructura de drenaje.
- Localizar las obras de drenaje a implementar y las obras complementarias de acuerdo con la necesidad, como resultado de la topografía de la zona, el análisis de

las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidráulicas y del diseño geométrico propuesto.

- Dimensionar las obras hidráulicas: alcantarillas circulares, cunetas, filtros entre otros, teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas determinadas para cada una, diseñando las estructuras de encole y descole, protecciones entre otras que se requieran.

Alcance Estudio de Socavación de obras menores

- Determinar con ayuda del estudio de suelos y geotecnia las obras hidráulicas requeridas para la estabilización en algunos puntos previamente establecidos como son: zanjas de coronación, filtros transversales o espina de pescado, pedraplen o enrocados entre otros.

3. PROCESO DE DISEÑO

3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El municipio de Yotoco se encuentra localizado en la subregión del centro del Departamento del Valle del Cauca, en las coordenadas 3°51'37" Norte y 76°23'00" Oeste, a unos 75 km de Cali. Tiene 16.263 habitantes, de acuerdo al censo del DANE elaborado en el año 2005. Su extensión territorial es de 873 Km²., cuenta con una altitud media de 972 m sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 29 °C.

Imagen 1. Localización del municipio de Yotoco en el departamento del Valle del Cauca



Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. Disponible en la web:
https://es.wikipedia.org/wiki/Yotoco#/media/Archivo:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_Yotoc

El Municipio de Yotoco está dividido en dos zonas diferentes; así: una plana, perteneciente al Valle del río Cauca y otra montañosa, al occidente, que hace parte de la vertiente oriental de la cordillera Occidental. Entre los accidentes orográficos los más destacados son: Altos de Corazón, El Jardín, Guacas, La Cecilia, La Florida, Palo Alto, Pan de Azúcar y Púlpito.

Límites: el municipio limita por el norte con el municipio de Riofrío, por el oriente con San Pedro, Buga y Guacarí, por el sur con el municipio de Vijes, por el occidente con Calima Darién y Restrepo. Los corregimientos que lo conforman son La Negra, colorados, Media Canoa, El Caney, Las Piedras, Las Delicias y Jiguales.

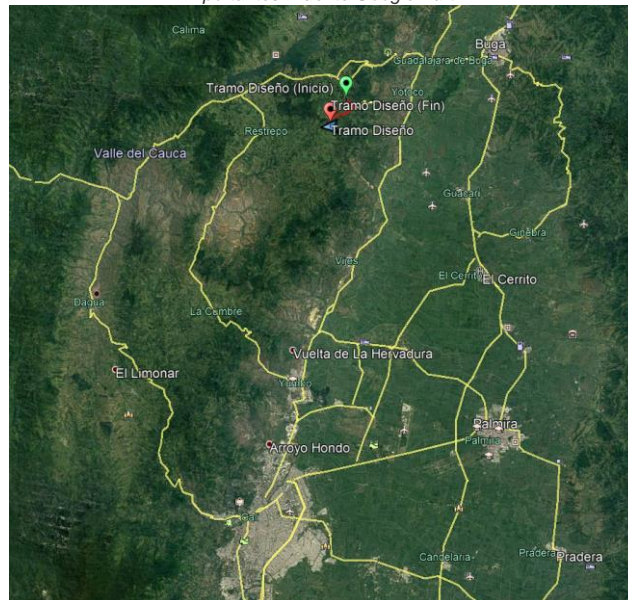
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR Y DE LA ESTRUCTURA

El tramo de proyecto se encuentra localizado en jurisdicción de Municipio de Yotoco, en el Departamento del Valle del Cauca, y hace parte de las vías dentro de la jurisdicción Municipal que dan comunicación a diferentes sectores con la cabecera del Municipio. En la Ilustración 1 se aprecia la ubicación del tramo en estudio en relación con la red vial de este sector en el Departamento del Valle del Cauca. El proyecto se desarrolla entre la Vereda Muñecos, la Vereda Buenos Aires y finaliza en la conexión a la Vereda Hato Viejo.

La vía objeto de estudio se encuentra dentro de las vías en jurisdicción de Municipio de Yotoco, y aporta un tramo de tránsito desde y hacia la vía Loboguerrero-Mediacanoa, y tránsito desde y hacia la vía Yumbo-Mediacanoa en conexión con el paso urbano de la cabecera del Municipio de Yotoco.

Yotoco en su posición privilegiada en el centro del Valle del Cauca en el cruce Buga – Loboguerrero – Buenaventura y Cali – Yumbo – Buga o Buenaventura es un punto estratégico dentro del corredor logístico de cara al pacífico.

Ilustración 1 Ubicación del sitio de proyecto en el marco regional del Valle del Cauca y su relación con las poblaciones cercanas más importantes- Fuente Google Earth

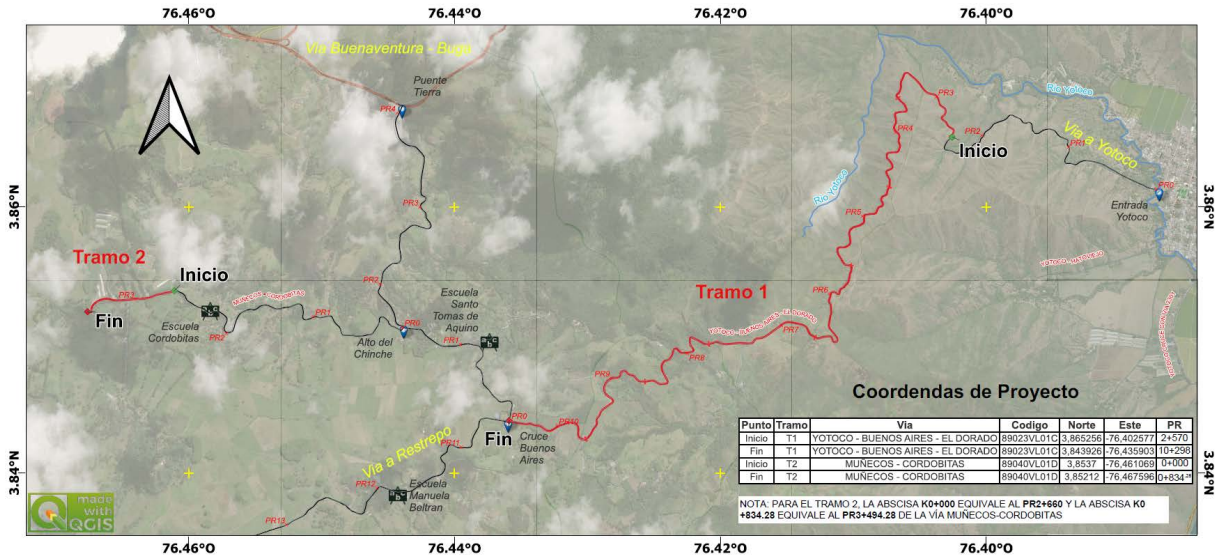


El sector de estudio corresponde a la vía que une las veredas Alto del Oso- Crucero Buenos Aires- Alto del Chinche y constituye aproximadamente 8.000 metros de longitud, distribuidos en dos (2) tramos diferentes.

Los tramos de intervención corresponden a el primer tramo comunica a la cabecera municipal de Yotoco y el Crucero de Buenos Aires entre el K2+570 y el K10+298 y el segundo tramo en la vía que comunica la vía Muñecos – Cordobita entre el K0+000 y K0 +834.28.

Ambos tramos se encuentran en afirmado con un ancho de calzada de 5.40m aproximadamente; sin embargo, se tienen tramos con ancho mejor a 5.0m.

Ilustración 2. Localización general de los tramos de intervención



4. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente estudio de hidrología, hidráulica y socavación de los tramos viales a intervenir fue necesario la recopilación de la información básica existente de la cartografía de la región teniendo en cuenta la plancha 280-I-A-2 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC y las imágenes satelitales de apoyo obtenidas de los portales del IDEAM, el portal de la Nasa y Google Earth Pro entre otros.

Adicionalmente se cuenta con la información necesaria para el análisis hidrológico como son los registros de precipitaciones, caudales y parámetros climáticos de las estaciones pluviométricas, hidrológicas y meteorológicas existentes en la zona de interés operadas por el IDEAM o la CVC, con el objetivo de determinar los parámetros principales para el cálculo de los caudales de diseño de las obras a implementar.

4.1. TRABAJOS DE CAMPO

El trabajo de campo consiste en las siguientes actividades:

- Reconocimiento visual del estado actual de la vía.
- Inspección visual de las estructuras de drenaje existentes mediante la cual se determinan aspectos tales como: número de estructuras de drenaje, estado estructural, estado de funcionamiento hidráulico, se toman las medidas de los elementos estructurales como muros, aletas y longitud de ducto. Además de evaluar

cada uno de los drenajes existentes y establecer si son permanentes o intermitentes.

- Registro fotográfico de cada una de las obras donde se pueda apreciar en la medida de lo posible su estructura de entrada, salida, descoles, estructuras de disipación; entre otros.
- Ubicación de zonas de drenaje donde se puedan implementar estructuras nuevas.
- Aspectos importantes dentro de los tramos de intervención en los cuales se puedan encontrar redes de servicios públicos como: redes de distribución de agua potable, alcantarillados sanitarios o en su defecto vertimientos de aguas residuales en sectores de la vía o en sus estructuras de drenaje.

4.2. ESTADO ACTUAL DE LOS TRAMOS DE INTERVENCIÓN

4.2.1. TRAMO N°1.

El tramo de intervención inicia en la abscisa K2+570 y finaliza en el K10+310; actualmente el tramo se encuentra con un material tipo afirmado en condiciones regulares; algunos sectores del tramo presentan surcos dejados por la escorrentía superficial que arrastra el material fino dejando el agregado grueso de la subrasante expuesto; es válido aclarar que el primer sector de este tramo 1 se encuentra un suelo tipo roca que es altamente susceptible al agua, por lo tanto, aunque la subrasante es buena en términos de capacidad portante se requiere de la implementación de las obras de drenaje adecuadas y necesarias para el buen manejo de las aguas de escorrentía. La mayoría de las obras de drenaje transversal son alcantarillas circulares de 24” superficiales las cuales presentan deterioro en sus estructuras de entrada y salida, alta porosidad en sus muros y algunas de ellas presentan socavación a la salida de la obra debido a las fuertes pendientes de las laderas.

En la

Fotografía 1 se encuentra el punto de inicio del proyecto; donde se puede observar la estructura de placa huella y el afirmado con presencia de material granular relativamente fino; los

drenajes superficiales como bombeo no se distingue y las cunetas en tierra han perdido su sección hidráulica debido al bajo o nulo mantenimiento que se realiza al tramo.

Fotografía 1. Estado actual del tramo de intervención – K2+570



Fuente: Propia Consultor

Se continua con el recorrido y se evidencia la topografía de la zona claramente de ondulada a montañosa de acuerdo con las fotografías y la topografía de campo tomada. En la Fotografía 2 se evidencian las laderas con pendientes fuertes en la sección transversal de la calzada.

Fotografía 2. Sección del tramo inicial de estudio



Fotografía 3. Sección del tramo inicial de estudio



En la

Fotografía 3, se tiene una obra hidráulica tipo alcantarillas la cual recoge el agua de escorrentía del talud en el margen izquierdo y se encuentra acompañada la estructura de entrada o encole de un canal longitudinal a margen izquierda, el cual tiene una longitud aproximada de 9.70m y una altura promedio de 0.70m y un ancho libre de 0.60m hasta descargar los caudales transportados; el descole de la obra se encuentra en el margen

derecho en un muro de 8.95m y el descole presenta socavación debido a la pendiente del sector indicando que se requiere de una estructura de disipación de energía.

Fotografía 4. Estado actual del tramo de intervención



En la Fotografía 4 se observan las huellas dejadas por el agua en la escorrentía, en el margen izquierdo, se tiene un talud mayor a 6m de altura y en el margen derecho se tiene una ladera con una pendiente considerable. El bombeo de la calzada se encuentra hacia el talud donde se puede observar la cuneta en tierra, este drenaje longitudinal presenta pérdida de su sección hidráulica y no se evidencia ningún mantenimiento.

Fotografía 5. Estado actual del tramo de intervención



En la Fotografía 5 se observa como la escorrentía arrastra el material fino dejando expuesto el material granular haciendo que con el tiempo los pequeños hundimientos vayan aumentando su tamaño y termine siendo incomodo el tránsito de los usuarios por la vía.

Fotografía 6. Estado actual del tramo de intervención



En la Fotografía 6 y Fotografía 7 se puede apreciar la vegetación existente en los taludes, la cual está compuesta de pastos, arbustos y algunos árboles de menor tamaño. El suelo es predominantemente roca altamente susceptible a la erosión; sin embargo, los taludes son en general casi verticales.

Fotografía 7. Vegetación y material de los taludes



Como se puede apreciar en la Fotografía 8, la calzada existentes en algunos sectores tiene taludes bastante inclinados y fuertes, la calzada presenta un ancho un poco menor a 5.0 metros. La vegetación en los taludes no evita que la roca sea afectada por los procesos de erosión en las temporadas de escorrentía.

Fotografía 8. Estado del tramo de intervención



4.2.2. TRAMO N°2.

El tramo de intervención corresponde a una longitud aproximada de 800m, el cual tiene un ancho promedio de 5.0m; la subrasante se encuentra en condiciones aceptables; sin embargo, presenta algunas ondulaciones y hundimientos debido a la falta de bombeo y a la pérdida de sección hidráulica en las cunetas; la topografía de la zona varía entre plana a ondulada. En el sector solo existen 2 obras localizadas al inicio y en la mitad del tramo donde se encuentra un box culvert el cual se encuentra en buen estado y funcionando de manera adecuada.

Fotografía 9. Estado del tramo de intervención sector inicial



En la Fotografía 9 se observa el sector inicial del segundo tramo de intervención, en él se aprecia la vegetación de la zona de estudio; se observan arbustos, pastos y arboles cuya altura varía entre mediana y alta. La calzada se encuentra en afirmada de un color entre café y negro como se puede ver en las fotografías.

En algunos sectores se encuentran pequeños empozamientos como se observa en la Fotografía 10, sin embargo, se pueden ver las cunetas a los costados de la calzada, pero su sección hidráulica útil se encuentra disminuida por la falta de mantenimiento.

Fotografía 10. Estado del tramo de intervención



Las obras de drenaje existentes se encuentran en buen estado, la alcantarilla existente es de 36" y se encuentra en el tramo que ya está pavimentado; la segunda obra de arte es un box culvert de 3.0m de ancho por 2.5m de altura, se encuentra funcionando adecuadamente, estructuralmente está en buenas condiciones y no se evidencia que las crecientes hayan sobrepasado la cota de la losa del mismo.

En la Fotografía 11 se presenta el sector de localización del box culvert; la zona tiene un ancho aproximado de 6m; el sector es relativamente plano a pesar de ser el más bajo; no se tienen taludes en la zona y la vegetación está conformada por pastos cortos y árboles de gran altura.

Fotografía 11. Localización del box culvert existente



5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico se basó en el análisis de la información hidrológica teniendo en cuenta la información extraída del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM en su enlace del Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH; esta información corresponde a los registros de precipitación de las estaciones pluviométricas encontradas dentro de la zona de estudio o cercanas a ella, las cuales son operadas por el IDEAM o la CVC en la zona de influencia del proyecto. Dado el caso en el cual no se encuentre datos de las estaciones en las páginas Web de las entidades en Colombia se puede usar también los registros de la página Web de la Nasa¹.

A continuación, se presenta el análisis hidrológico, el cual permitirá encontrar los caudales máximos de diseño asociados a diferentes tiempos de retorno; adicionalmente se describen los elementos meteorológicos básicos requeridos por el estudio de acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS 2009; los cuales son precipitación total anual, número de días con lluvia, temperatura media anual y clasificación climática de la zona de estudio entre otros.

5.1. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS E HIDROLÓGICAS

La identificación de las estaciones pluviométricas presentes en la zona de estudio se llevó a cabo mediante el Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH del IDEAM; como se puede observar en la Tabla 1; se observa que existen varias estaciones meteorológicas de tipo convencional y automática con telemetría en la zona de influencia del proyecto, sin

¹ NASA POWER – <https://power.larc.nasa.gov>

embargo no todas cuentan con registros completos que tengan como mínimo un rango de 20 años como periodo básico de análisis. Por tanto, se procede al análisis de los datos de las estaciones que cumplan con esta característica.

Tabla 1 Estaciones pluviométricas e hidrológicas municipio del Yotoco, Departamento del Valle del Cauca

Observatorio Observatorio Aguas Superficiales Estaciones						
Estadísticas Meteorológicas						
Usted podrá consultar la información meteorológica de las estaciones de monitoreo IDEAM						
Área	Seleccione	Zona	Seleccione	Subzona	Seleccione	Buscar
Departamento	VALLE DEL CAUCA		Municipio	YOTOCO		
Opciones	View	Detach				
Id	Nombre	Categoría	Clase	Tipo	Municipio	
26085070	BOSQUE YOTOCO [26085070]	Climatologica Ordinaria	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26085140	GARZONERO [26085140]	Climatologica Ordinaria	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26080170	GARZONERO [26080170]	Pluviometrica	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26080190	CANEY EL [26080190]	Pluviometrica	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26080240	BUENOS AIRES [26080240]	Pluviometrica	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26080290	MEDIACANOA-ALERTAS [2608...	Pluviometrica	Meteorologica	Convencional	YOTOCO	
26085180	YOTOCO AUTOMATICA [2608...	Climatologica Principal	Meteorologica	Automatica con Telemetría	YOTOCO	
26315010	BOSQUE DE YOTOCO - AUT	Climatologica Ordinaria	Meteorologica	Automatica con Telemetría	YOTOCO	
26310020	EL CANEY - AUT	Pluviografica	Meteorologica	Automatica con Telemetría	YOTOCO	
26330050	MEDIACANOA - AUT	Pluviografica	Meteorologica	Automatica con Telemetría	YOTOCO	

Fuente: Observatorio de Aguas Superficiales – SIRH, IDEAM

En la Tabla 2 se presentan las estaciones hidrológicas que se encuentran dentro del municipio de las cuales se analizará las que tengan influencia dentro del área de ubicación del proyecto o cercana a este, de acuerdo a la recomendación del Manual de Drenaje. Después del análisis si se determina que las estaciones hidrológicas no son representativas para la zona de estudio con el objeto de hacer el cálculo de caudales máximos de diseño, se utilizarán los métodos lluvia – escorrentía de acuerdo con el caso.

Tabla 2 Estaciones hidrológicas municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS - CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Observatorio Observatorio Aguas Superficiales Estaciones

Estadísticas Hidrológicas
 Usted podrá consultar la información hidrológica de las estaciones de monitoreo IDEAM

Área Zona Subzona Código:

Departamento Municipio

View

ENA	Oferta media (Mmc)	Oferta seca (Mmc)	Demanda (Mmc)	IUA Año medio	IUA Año seco	IACAL Año medio	IACAL Año seco	Vulnerabilidad Año medio	Vulnerabilidad Año seco
No hay datos para mostrar									

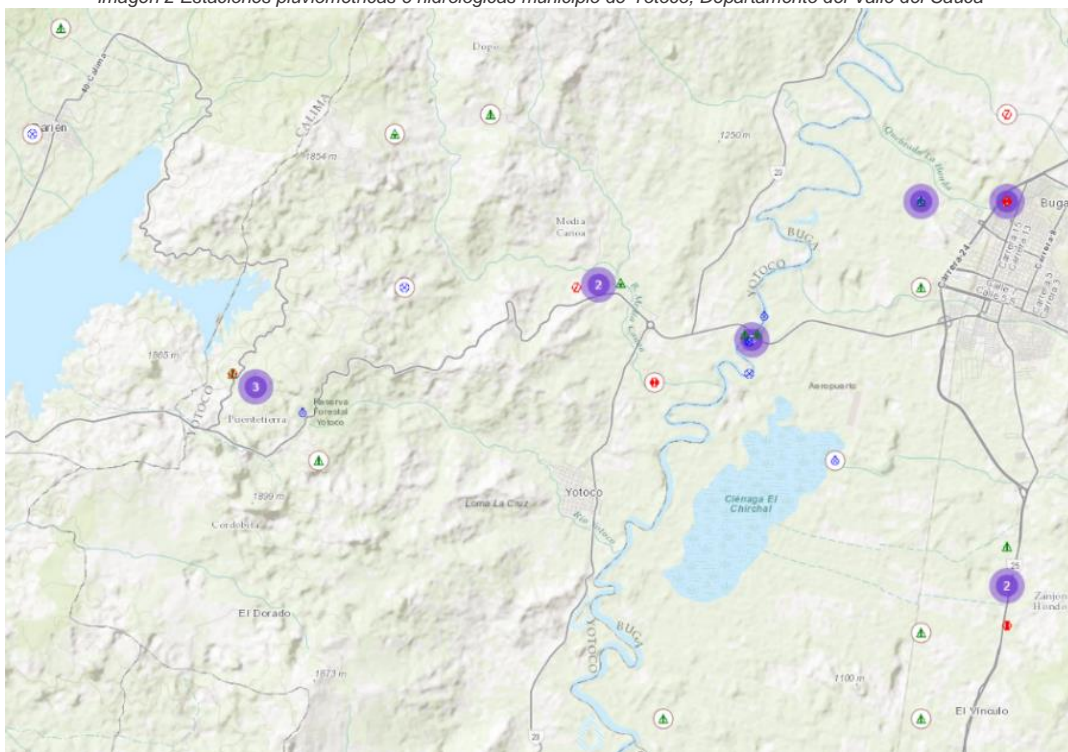
Opciones View

Id	Nombre	Categoría	Clase	Tipo	Municipio
26087160	GARZONERO NORTE [26087160]	Limnimetría	Hidrológica	Convencional	YOTOCO
26087020	CHORROS LOS [26087020]	Limnimetría	Hidrológica	Convencional	YOTOCO
26087050	MEDIACANOA AUTOMÁTICA[26087050]	Limnigráfica	Hidrológica	Automática con Telemetría	YOTOCO
26087140	MEDIACANOA [26087140]	Limnimetría	Hidrológica	Convencional	YOTOCO
26317010	LOS CHORROS - AUT	Limnigráfica	Hidrológica	Automática con Telemetría	YOTOCO

Fuente: Observatorio de Aguas Superficiales – SIRH, IDEAM

A continuación, se presenta el mapa de ubicación de las estaciones dentro de la zona de estudio

Imagen 2 Estaciones pluviométricas e hidrológicas municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca



De acuerdo con las estaciones pluviométricas e hidrológicas existentes en el municipio de Yotoco, se descartan las siguientes estaciones debido a que no se tiene información; así:

Estaciones pluviométricas:

- Estación Bosque Yotoco [26085070]
- Estación Garzoner [26085140]
- Estación Yotoco Automática [26085180]
- Estación Bosque de Yotoco Automática [26315010]
- Estacion Buenos Aires [26080240]
- Estación El Caney – Automática [26310020]
- Estación Mediacaño Automática [26330050]

Estaciones hidrológicas:

- Estación Garzoner Norte [26087160]
- Estación Los Chorros [26087020]
- Estación Los Chorros Automática [26317010]

De acuerdo con los datos registrados en la página del IDEAM las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro de la zona de estudio son operadas por la Corporación Regional del Valle del Cauca CVC; por lo tanto, de acuerdo con el Manual de Drenaje se establece que los estudios de lluvias deben estar apoyados por las entidades gubernamentales encargadas para tal fin, teniendo en cuenta que no se cuentan con datos actualizados en la página del IDEAM se tomarán los datos de las estaciones de la CVC.

5.2. ANALISIS DATOS DE LLUVIAS ESTACIONES

El siguiente análisis de datos se desarrolla teniendo en cuenta que el periodo de estudios no sea inferior a 15 años; por lo tanto, se descartan todas las estaciones meteorológicas que no cumplan con este requerimiento; debido a que el análisis de los registros de lluvias es un análisis estadístico y se busca reducir la incertidumbre. Para desarrollar el siguiente análisis de la información se utiliza el siguiente procedimiento:

- Obtención de los registros de cada una de las estaciones
- Procesamiento de la información, en la cual se toma un periodo de tiempo en datos mayor a 15 años para todas las estaciones para todas las estaciones dentro de la zona de estudio o cercanas a ella.
- Análisis de resultados
- Esquema resumen

Dentro de la zona de estudio o cercana a ella se encuentran las estaciones pluviométricas Bosques de Yotoco – Aut [26315010], Buenos Aires [26080240] y Yotoco Aut [26085180]; las cuales registran datos de lluvias dentro de la zona de estudio o cercanas al tramo.

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Tabla 4 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Bosques de Yotoco

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SUMA
1990	142.38	121.29	131.84	110.74	105.47	79.1	73.83	63.28	58.01	174.02	163.48	100.2	1323.64
1991	21.09	26.37	116.02	84.38	116.02	105.47	100.2	47.46	121.29	63.28	84.38	116.02	1001.98
1992	131.84	116.02	42.19	168.75	152.93	68.55	116.02	84.38	163.48	105.47	137.11	110.74	1397.48
1993	168.75	73.83	189.84	152.93	200.39	142.38	126.56	79.1	232.03	163.48	163.48	184.57	1877.34
1994	200.39	158.2	168.75	184.57	174.02	189.84	152.93	142.38	126.56	179.3	216.21	94.92	1988.07
1995	94.92	52.73	179.3	200.39	158.2	158.2	158.2	131.84	195.12	200.39	147.66	89.65	1766.6
1996	116.02	168.75	216.21	174.02	195.12	174.02	131.84	163.48	189.84	184.57	110.74	89.65	1914.26
1997	205.66	142.38	110.74	210.94	189.84	195.12	68.55	84.38	110.74	100.2	205.66	58.01	1682.22
1998	26.37	100.2	184.57	221.48	247.85	210.94	253.12	242.58	295.31	258.4	348.05	247.85	2636.72
1999	195.12	311.13	200.39	342.77	268.95	179.3	116.02	131.84	237.3	210.94	216.21	195.12	2605.09
2000	174.02	216.21	216.21	184.57	232.03	179.3	163.48	73.83	131.84	105.47	110.74	58.01	1845.71
2001	79.1	42.19	84.38	84.38	68.55	47.46	21.09	52.73	73.83	63.28	126.56	126.56	870.11
2002	26.37	10.55	68.55	142.38	89.65	89.65	58.01	31.64	73.83	116.02	189.84	110.74	1007.23
2003	10.55	79.1	94.92	116.02	63.28	58.01	42.19	47.46	26.37	189.84	73.83	47.46	849.03
2004	89.65	42.19	26.37	89.65	110.74	*	21.09	*	36.91	179.3	226.76	89.65	912.31
2005	42.19	31.64	42.19	89.65	94.92	58.01	42.19	63.28	42.19	121.29	137.11	73.83	838.49
2006	58.01	73.83	94.92	94.92	42.19	116.02	21.09	26.37	68.55	94.92	89.65	79.1	859.57
2007	42.19	15.82	63.28	126.56	73.83	10.55	47.46	26.37	58.01	121.29	63.28	89.65	738.29
2008	68.55	110.74	121.29	121.29	152.93	63.28	15.82	31.64	36.91	126.56	179.3	126.56	1154.87
2009	68.55	79.1	147.66	68.55	31.64	73.83	31.64	100.2	47.46	58.01	52.73	68.55	827.92
2010	*	36.91	31.64	221.48	126.56	100.2	142.38	79.1	105.47	116.02	242.58	168.75	1371.09
2011	36.91	147.66	110.74	258.4	105.47	68.55	126.56	36.91	63.28	168.75	290.04	205.66	1618.93
2012	184.57	84.38	131.84	184.57	126.56	58.01	36.91	73.83	58.01	179.3	174.02	116.02	1408.02
2013	26.37	147.66	147.66	131.84	247.85	63.28	36.91	100.2	100.2	210.94	163.48	147.66	1524.05
2014	73.83	105.47	110.74	210.94	158.2	58.01	15.82	31.64	84.38	163.48	179.3	110.74	1302.55
2015	68.55	79.1	163.48	147.66	68.55	15.82	52.73	31.64	42.19	121.29	126.56	15.82	933.39
2016	42.19	26.37	131.84	210.94	168.75	58.01	89.65	47.46	100.2	195.12	179.3	184.57	1434.4
2017	105.47	15.82	274.22	189.84	232.03	121.29	36.91	110.74	100.2	232.03	237.3	152.93	1808.78
2018	126.56	147.66	89.65	189.84	179.3	94.92	84.38	84.38	89.65	158.2	205.66	42.19	1492.39
2019	47.46	126.56	131.84	221.48	221.48	105.47	31.64	26.37	84.38	216.21	258.4	100.2	1571.49
2020	42.19	126.56	84.38	137.11	121.29	94.92	142.38	126.56	68.55	105.47	126.56	137.11	1313.08
2021	105.47	63.28	116.02	210.73	115.74	185.82	38.33	48.61	64.83	57.56	95.67	110.33	1212.39
MINIMOS	10.55	10.55	26.37	68.55	31.64	10.55	15.82	26.37	26.37	57.56	52.73	15.82	
PROMEDIOS	91.01	96.24	125.74	165.12	145.01	103.98	81.12	78.12	102.72	148.14	166.30	114.03	
MAXIMOS	205.66	311.13	274.22	342.77	268.95	210.94	253.12	242.58	295.31	258.4	348.05	247.85	

Gráfica 1. Precipitación media mensual multianual estación Bosques de Yotoco



De acuerdo con los resultados en la

Tabla 4 la mayor precipitación se presentó en el año 1998 con un valor total de precipitación anual de 2636.72mm y el año con menores registros de lluvias se presentó en el año 2007 con un valor total anual de 738.29mm; dichos resultados son consecuentes con años en los cuales se presentaron el fenómeno de La Niña y El Niño respectivamente. La precipitación

promedio de acuerdo con los datos es de 118.13mm; los datos de lluvias obedecen a una distribución de tipo bimodal con dos temporadas de lluvias bien marcadas y una temporada seca; sin embargo, el mes más lluvioso del año es el mes de noviembre con un promedio de 166.30mm y el mes más seco o con menos lluvias es agosto con un valor promedio de 78.12mm.

- **Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)**

El Manual de Drenaje para Carreteras establece los procedimientos, metodologías y ecuaciones a utilizar, incluso expone diferentes metodologías que existen como lo son la de la Universidad del Cauca y la de la Universidad de los Andes las cuales son igualmente válidas y aplicables, para la determinación de las curvas IDF.

Sin embargo, para este caso en particular se procesarán los datos de lluvias y se construirán las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (Curvas IDF) mediante el método simplificado, siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración, el Manual de Drenaje² establece que la metodología es la más usada para el cálculo de las curvas IDF y aclara, que se obtienen mejores resultados con la que se expone a continuación; siendo la más sencilla de utilizar.

Ecuación 1. Intensidad Método Simplificado

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

Donde:

- I: intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)
- T: periodo de retorno, en años
- M: Precipitación máxima promedio anual en 24h a nivel multianual
- t: duración de la lluvia, en minutos (min)
- a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	1392	0.19	0.58	0.2
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

De acuerdo con la zona de ubicación del municipio de Yotoco; se trabajará con los coeficientes de la región andina (R1) para la obtención de las curvas IDF asociadas a la estación de análisis.

² Capítulo 2 Hidrología de Drenaje Superficial Vial, Sub título 2.6.6.3 Cálculo de curvas IDF por método simplificado Pág. 2-70

- **Precipitaciones máximas en 24 horas**

La definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro de precipitación máxima en 24 horas, se ha basado en los datos que se presentan en la Tabla 6

Tabla 6 Precipitaciones máximas en 24h, estación Bosques de Yotoco

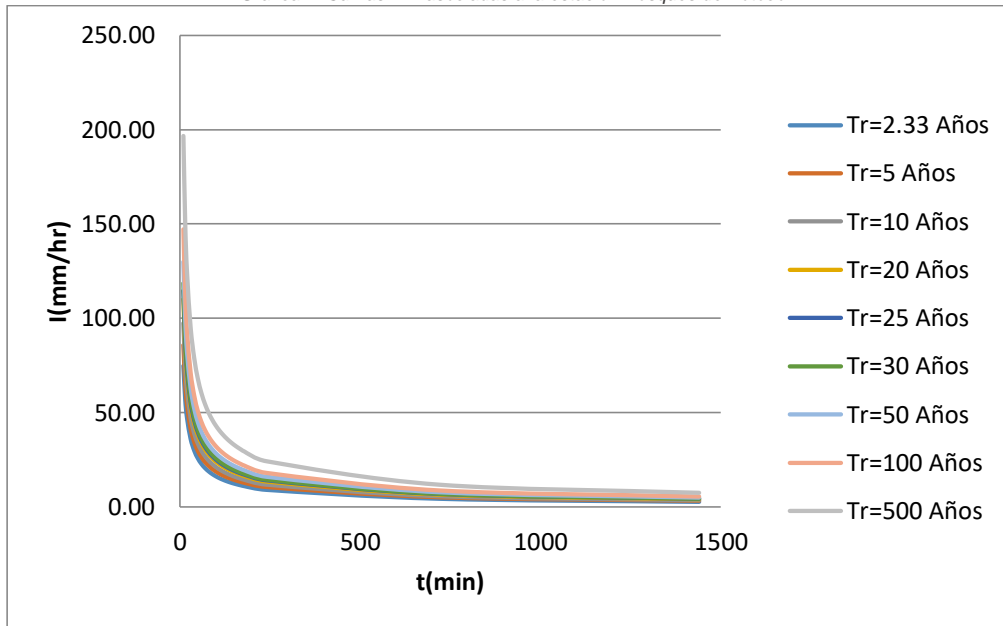
AÑO	PM(mm)
1990	31.13
1991	31.2
1992	31.78
1993	31.23
1994	31.03
1995	27.24
1996	31.86
1997	34.83
1998	45.79
1999	43.24
2000	40.67
2001	27.49
2002	84.57
2003	23.42
2004	66.13
2005	28.47
2006	28.47
2007	44.84
2008	25.48
2009	18.83
2010	41.38
2011	73.98
2012	31.14
2013	27.04
2014	36.09
2015	28.01
2016	43.48
2017	55.22
2018	36.37
2019	72.51
2020	47.01
2021	30.89

Tabla 7 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Bosques de Yotoco

CURVAS IDF ESTACION BOSQUES DE YOTOCO									
Tiempo	Periodo de Retorno (Años)								
	2.33	5	10	20	25	30	50	100	500
10	74.86	85.89	97.30	110.23	114.75	118.57	129.99	147.27	196.75
15	57.28	65.72	74.45	84.35	87.80	90.73	99.47	112.69	150.56
20	47.37	54.36	61.58	69.76	72.62	75.04	82.27	93.20	124.52
30	36.25	41.59	47.12	53.38	55.57	57.42	62.95	71.32	95.28
40	29.98	34.40	38.97	44.15	45.96	47.49	52.07	58.99	78.81
50	25.88	29.69	33.63	38.10	39.67	40.99	44.94	50.91	68.01
60	22.94	26.32	29.82	33.78	35.17	36.34	39.84	45.14	60.30
70	20.72	23.78	26.94	30.52	31.77	32.83	35.99	40.77	54.47
80	18.98	21.77	24.66	27.94	29.09	30.06	32.95	37.33	49.87
90	17.56	20.14	22.82	25.85	26.91	27.81	30.49	34.54	46.14

CURVAS IDF ESTACION BOSQUES DE YOTOCO									
Tiempo	Periodo de Retorno (Años)								
	2.33	5	10	20	25	30	50	100	500
100	16.38	18.79	21.29	24.12	25.10	25.94	28.44	32.22	43.04
110	15.38	17.64	19.99	22.64	23.57	24.36	26.71	30.25	40.42
120	14.52	16.66	18.87	21.38	22.26	23.00	25.22	28.57	38.16
130	13.77	15.80	17.90	20.28	21.11	21.82	23.92	27.10	36.20
140	13.12	15.05	17.05	19.31	20.10	20.78	22.78	25.80	34.47
150	12.53	14.38	16.29	18.45	19.21	19.85	21.76	24.65	32.94
160	12.01	13.78	15.61	17.68	18.41	19.02	20.85	23.63	31.56
170	11.54	13.24	15.00	16.99	17.69	18.28	20.04	22.70	30.33
180	11.11	12.75	14.44	16.36	17.03	17.60	19.29	21.86	29.20
240	9.19	10.54	11.94	13.53	14.09	14.56	15.96	18.08	24.15
720	4.45	5.11	5.78	6.55	6.82	7.05	7.73	8.76	11.70
1440	2.82	3.23	3.66	4.15	4.32	4.46	4.89	5.54	7.40

Gráfica 2. Curvas IDF asociadas a la estación Bosques de Yotoco



5.2.2. ESTACION BUENOS AIRES [26080240]

La estación Buenos Aires es una estación pluviométrica del tipo convencional que se encuentra localizada geográficamente en las coordenadas 3°52'12.00"N y 76°25'48.00"O, la estación es operada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y proporciona información al IDEAM; sin embargo, los datos que se encuentran en los registros del IDEAM no se encuentran actualizados; por consiguiente, los registros fueron bajados de la página de la Nasa.

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

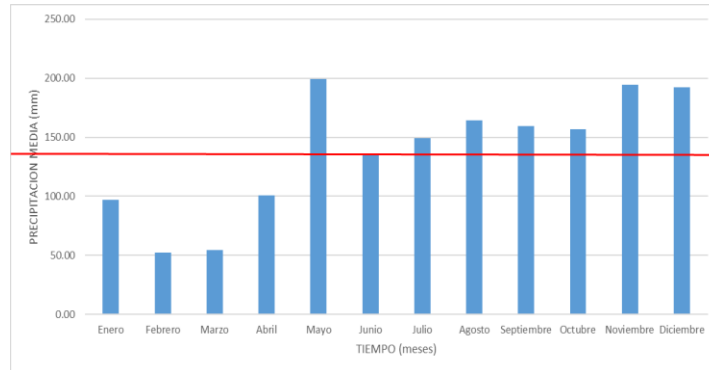
MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Tabla 9 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Buenos Aires

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Sumatoria
1981	58.01	15.82	63.28	121.29	274.22	58.01	73.83	168.75	258.4	142.38	84.38	126.56	1444.93
1982	47.46	*	5.27	68.55	216.21	179.3	147.7	116.02	179.3	189.84	321.68	464.06	1935.35
1983	121.3	10.55	15.82	73.83	131.84	84.38	131.8	200.39	210.94	195.12	89.65	284.77	1550.42
1984	100.2	179.3	110.74	152.93	179.3	84.38	163.5	94.92	116.02	26.37	263.67	36.91	1508.22
1985	137.1	131.84	52.73	121.29	195.12	158.2	47.46	232.03	168.75	179.3	100.2	205.66	1729.69
1986	63.28	*	116.02	105.47	158.2	100.2	105.5	158.2	279.49	110.74	21.09	290.04	1508.2
1987	210.9	*	*	137.11	84.38	189.8	105.5	237.3	147.66	232.03	121.29	84.38	1455.48
1988	52.73	36.91	58.01	105.47	226.76	142.4	168.8	158.2	205.66	10.55	232.03	137.11	1534.56
1989	395.5	26.37	10.55	52.73	184.57	189.8	94.92	205.66	131.84	110.74	84.38	105.47	1592.58
1990	10.55	36.91	47.46	42.19	100.2	152.9	84.38	105.47	73.83	216.21	89.65	258.4	1218.18
1991	168.8	5.27	21.09	73.83	174.02	84.38	110.7	147.66	73.83	242.58	152.93	216.21	1471.29
1992	52.73	*	*	36.91	232.03	105.5	216.2	184.57	147.66	58.01	268.95	189.84	1492.38
1993	84.38	10.55	68.55	84.38	268.95	174	247.9	121.29	179.3	84.38	274.22	247.85	1845.72
1994	52.73	63.28	36.91	100.2	358.59	126.6	189.8	210.94	163.48	284.77	421.88	168.75	2177.93
1995	84.38	105.47	*	79.1	232.03	131.8	110.7	189.84	89.65	131.84	47.46	73.83	1276.18
1996	73.83	26.37	63.28	121.29	100.2	242.6	205.7	116.02	184.57	68.55	147.66	42.19	1392.2
1997	5.27	15.82	15.82	47.46	305.86	63.28	221.5	126.56	258.4	216.21	110.74	295.31	1682.21
1998	121.3	*	15.82	31.64	321.68	189.8	263.7	89.65	158.2	105.47	36.91	263.67	1597.84
1999	290	73.83	100.2	126.56	184.57	126.6	137.1	110.74	152.93	348.05	116.02	137.11	1903.72
2000	168.8	42.19	31.64	126.56	142.38	163.5	100.2	158.2	237.3	68.55	163.48	105.47	1508.2
2001	137.1	15.82	*	158.2	142.38	131.8	184.6	116.02	121.29	116.02	89.65	152.93	1365.83
2002	94.92	105.47	31.64	184.57	189.84	116	100.2	121.29	79.1	174.02	390.23	348.05	1935.35
2003	79.1	73.83	58.01	142.38	126.56	189.8	126.6	79.1	163.48	47.46	321.68	36.91	1444.91
2004	63.28	10.55	15.82	121.29	137.11	42.19	221.5	147.66	184.57	152.93	337.5	184.57	1618.95
2005	31.64	5.27	21.09	68.55	274.22	126.6	131.8	105.47	110.74	131.84	94.92	63.28	1165.42
2006	226.8	42.19	84.38	36.91	116.02	137.1	63.28	205.66	226.76	147.66	348.05	527.34	2162.12
2007	94.92	15.82	42.19	84.38	84.38	179.3	195.1	195.12	205.66	226.76	47.46	221.48	1592.59
2008	89.65	26.37	131.84	189.84	84.38	158.2	232	147.66	10.55	174.02	152.93	100.2	1497.67
2009	26.37	*	10.55	137.11	189.84	137.1	100.2	274.22	79.1	63.28	332.23	131.84	1481.85
2010	100.2	84.38	26.37	131.84	242.58	300.6	189.8	205.66	189.84	105.47	168.75	174.02	1919.54
2011	68.55	31.64	*	163.48	100.2	15.82	189.8	152.93	137.11	195.12	305.86	232.03	1592.58
2012	10.55	94.92	31.64	158.2	242.58	247.9	158.2	195.12	205.66	305.86	131.84	332.23	2114.65
2013	15.82	63.28	84.38	52.73	232.03	290	158.2	268.95	94.92	263.67	174.02	195.12	1893.16
2014	5.27	10.55	84.38	68.55	216.21	31.64	63.28	168.75	195.12	158.2	268.95	184.57	1455.47
2015	15.82	26.37	36.91	52.73	168.75	68.55	189.8	189.84	226.76	189.84	237.3	163.48	1566.19
2016	68.55	79.1	21.09	89.65	284.77	174	210.9	195.12	68.55	121.29	263.67	142.38	1719.13
2017	84.38	68.55	79.1	58.01	205.66	47.46	63.28	142.38	110.74	73.83	342.77	147.66	1423.82
2018	31.64	73.83	110.74	163.48	395.51	126.6	179.3	105.47	168.75	232.03	142.38	73.83	1803.52
2019	42.19	47.46	26.37	174.02	179.3	137.1	137.1	258.4	253.12	253.12	300.59	311.13	2119.92
2020	15.82	42.19	10.55	63.28	237.3	73.83	226.8	126.56	216.21	137.11	158.2	184.57	1492.38
2021	168.8	*	158.2	12.53	165.46	62.34	192.5	176.27	89.85	83.32	165.35	78.32	1352.88

Item	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom.
Minimos	5.27	5.27	5.27	12.53	84.38	15.82	10.55	79.1	10.55	10.55	21.09	36.91	136.50
Promedios	91.96	49.94	52.73	100.50	197.22	135.16	149.91	163.66	159.88	155.48	193.23	188.28	
Máximos	395.5	179.3	158.2	189.84	395.51	300.6	263.7	274.22	279.49	348.05	421.88	527.34	

Gráfica 3. Precipitación media mensual multianual estación Buenos Aires



De acuerdo con los datos registrados en la Tabla 9 la menor precipitación registrada se presentó en el año 2005 con un valor total de 1165.42mm y el año en el cual se registró la mayor precipitación se presentó en el año 1994 con un valor total de precipitación de 2177.93mm; estos resultados son congruentes con años en los cuales se presentó el fenómeno de La Niña y El Niño. La precipitación promedio de según los datos es de 136.50mm. Los datos de la estación Buenos Aires obedecen a una distribución de tipo bimodal con dos temporadas de lluvias bien marcadas y una temporada seca; sin embargo, el mes más lluvioso es el mes de mayo con un valor de 197.22mm y el mes con menos lluvias es el mes de febrero con un valor de 49.94mm.

- **Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)**

El Manual de Drenaje para Carreteras establece los procedimientos, metodologías y ecuaciones a utilizar, incluso expone diferentes metodologías que existen como lo son la de la Universidad del Cauca y la de la Universidad de los Andes las cuales son igualmente válidas y aplicables, para la determinación de las curvas IDF.

Sin embargo, para este caso en particular se procesarán los datos de lluvias y se construirán las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (Curvas IDF) mediante el método simplificado, siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración, el Manual de Drenaje³ establece que la metodología es la más usada para el cálculo de las curvas IDF y aclara, que se obtienen mejores resultados con la que se expone a continuación; siendo la más sencilla de utilizar.

Ecuación 2. Intensidad Método Simplificado

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

Donde:

I: intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)

³ Capítulo 2 Hidrología de Drenaje Superficial Vial, Sub título 2.6.6.3 Cálculo de curvas IDF por método simplificado Pág. 2-70

-
- T: periodo de retorno, en años
M: Precipitación máxima promedio anual en 24h a nivel multianual
t: duración de la lluvia, en minutos (min)
a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	1392	0.19	0.58	0.2
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

De acuerdo con la zona de ubicación del municipio de Yotoco; se trabajará con los coeficientes de la región andina (R1) para la obtención de las curvas IDF asociadas a la estación de análisis.

- **Precipitaciones máximas en 24 horas**

La definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro de precipitación máxima en 24 horas, se ha basado en los datos que se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 Precipitaciones máximas en 24h, estación Buenos Aires

Iniciativa presentada por:
AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

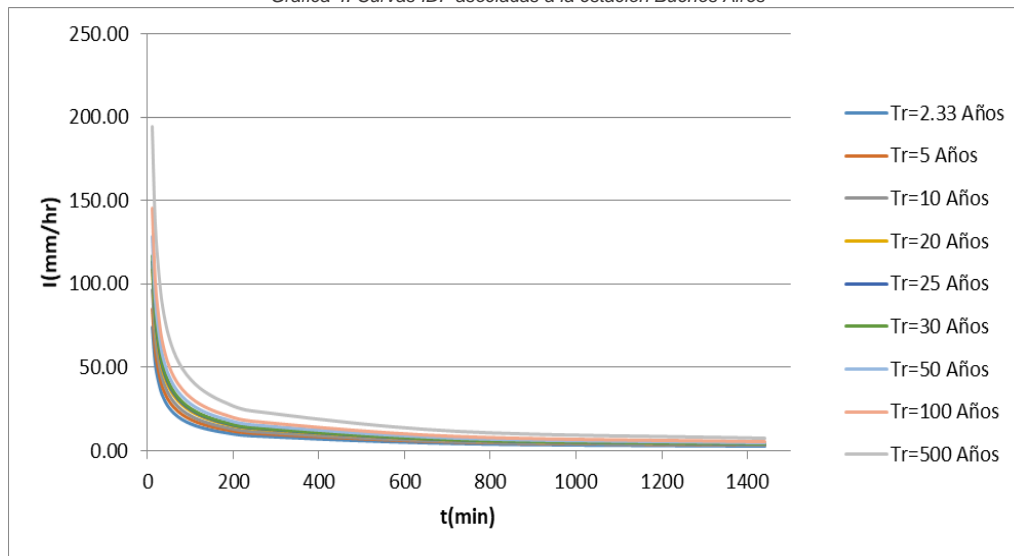
MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

AÑO	P(mm)
1981	32.02
1982	29.17
1983	34.44
1984	26.71
1985	58.15
1986	52.87
1987	39.83
1988	30.67
1989	29.25
1990	31.13
1991	31.2
1992	31.78
1993	31.23
1994	31.03
1995	27.2
1996	31.86
1997	34.83
1998	45.79
1999	43.24
2000	40.67
2001	27.49
2002	84.57
2003	23.42
2004	66.13
2005	28.47
2006	24.2
2007	44.84
2008	25.48
2009	18.83
2010	41.38
2011	73.98
2012	31.14
2013	27.04
2014	36.09
2015	28.01
2016	43.48
2017	55.22
2018	36.37
2019	72.51
2020	47.01
2021	30.89

Tabla 12 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Buenos Aires

Curvas IDF Estación Buenos Aires [26080240]									
Tiempo	Periodo de Retorno (Años)								
	2.33	5	10	20	25	30	50	100	500
10	73.97	84.86	96.14	108.92	113.38	117.16	128.45	145.51	194.41
15	56.60	64.94	73.57	83.34	86.76	89.65	98.29	111.35	148.76
20	46.81	53.71	60.85	68.93	71.76	74.15	81.29	92.09	123.04
30	35.82	41.10	46.56	52.75	54.91	56.74	62.20	70.47	94.15
40	29.63	33.99	38.51	43.62	45.41	46.93	51.45	58.28	77.87
50	25.57	29.34	33.23	37.65	39.19	40.50	44.40	50.30	67.20
60	22.67	26.01	29.47	33.38	34.75	35.91	39.37	44.60	59.59
70	20.48	23.49	26.62	30.15	31.39	32.44	35.56	40.28	53.82
80	18.75	21.51	24.37	27.61	28.74	29.70	32.56	36.89	49.28
90	17.35	19.90	22.55	25.54	26.59	27.48	30.12	34.13	45.60
100	16.18	18.57	21.03	23.83	24.80	25.63	28.10	31.84	42.53
110	15.20	17.43	19.75	22.38	23.29	24.07	26.39	29.89	39.94
120	14.35	16.46	18.65	21.13	21.99	22.73	24.91	28.23	37.71
130	13.61	15.61	17.69	20.04	20.86	21.56	23.63	26.77	35.77
140	12.96	14.87	16.84	19.08	19.87	20.53	22.50	25.50	34.06
150	12.38	14.21	16.09	18.23	18.98	19.61	21.50	24.36	32.55
160	11.87	13.61	15.42	17.47	18.19	18.80	20.61	23.34	31.19
170	11.40	13.08	14.82	16.79	17.48	18.06	19.80	22.43	29.97
180	10.98	12.60	14.27	16.17	16.83	17.39	19.07	21.60	28.86
240	9.08	10.42	11.80	13.37	13.92	14.38	15.77	17.86	23.87
720	4.40	5.05	5.72	6.48	6.74	6.97	7.64	8.65	11.56
1440	2.78	3.19	3.62	4.10	4.27	4.41	4.83	5.48	7.31

Gráfica 4. Curvas IDF asociadas a la estación Buenos Aires



5.2.3. ESTACION YOTOCO - AUT [26085180]

La estación Yotoco Aut es una estación climática principal del tipo automática con telemetría que se encuentra localizada geográficamente en las coordenadas 3°52'12.00"N y 76°25'48.00"O, la estación es operada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y proporciona información al IDEAM; sin embargo, los datos que no se encuentran en las páginas del IDEAM; por consiguiente, los registros fueron bajados de la página de la Nasa.

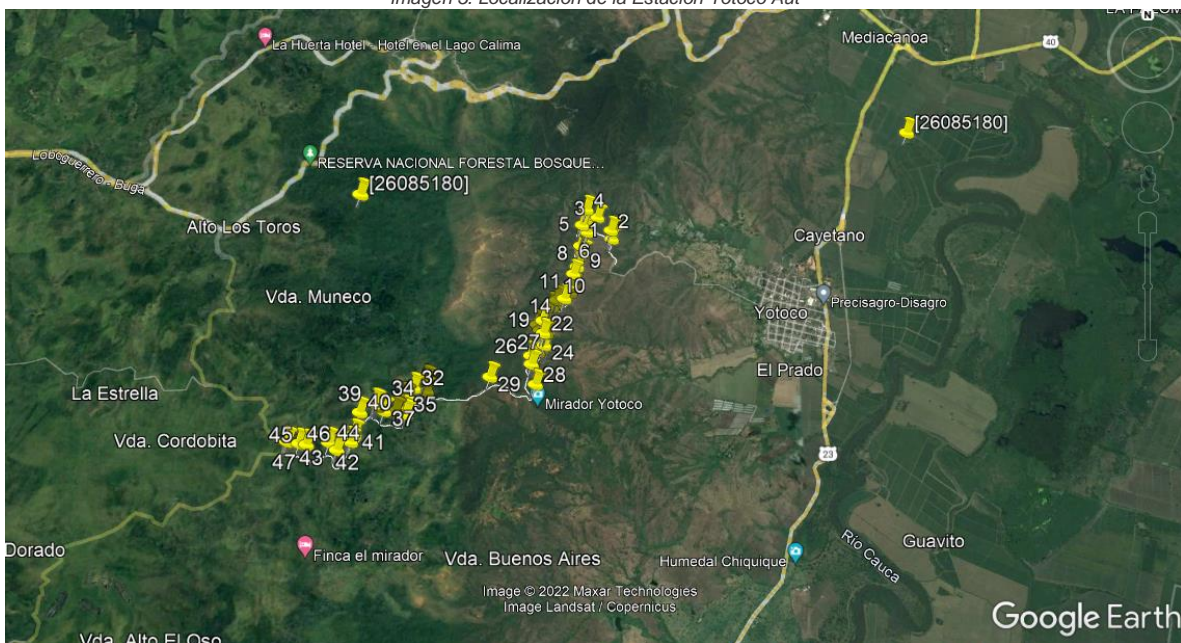
Iniciativa presentada por:
AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Tabla 13. Datos generales estación Yotoco Aut

Catalogo Nacional de Estaciones: YOTOCO - AUT [26085180]	
Código	26085180
Nombre	YOTOCO - AUT [26085180]
Categoría	Climática Principal
Longitud	-76,37
Latitud	3,88
Altitud	960,00
Departamento	Valle del Cauca
Municipio	Yotoco
Estado	Activa
Tecnología	Automática con Telemetría
Fecha de Instalación	Mayo 1, 1997
Acercar a	

Imagen 5. Localización de la Estación Yotoco Aut



Para el análisis de datos se extrae la información de la página web de la Nasa (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>); los registros que se obtienen se encuentran desde el año 1981 hasta el año 2021 de manera continua. Este periodo de datos corresponde a 41 años; por lo tanto se procede a hacer el análisis respectivo.

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

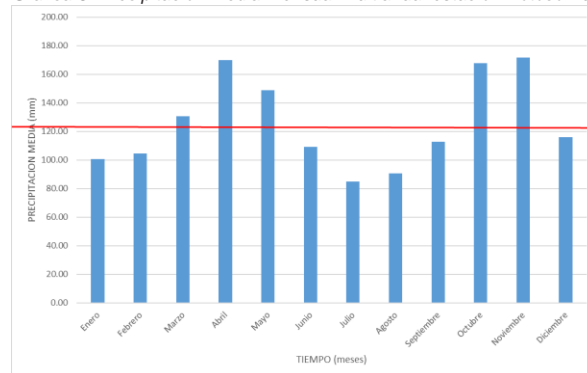
MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Tabla 14 Registro de precipitaciones medias mensuales estación Yotoco Aut

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Sumatoria
1981	94.92	189.84	216.21	305.86	321.68	247.9	121.3	174.02	205.66	390.23	295.31	226.76	2789.63
1982	205.7	137.11	116.02	163.48	94.92	42.19	21.09	15.82	84.38	168.75	131.84	68.55	1249.81
1983	42.19	42.19	147.66	232.03	94.92	89.65	52.73	68.55	100.2	221.48	105.47	200.39	1397.46
1984	232	210.94	121.29	137.11	237.3	189.8	105.5	210.94	110.74	221.48	179.3	84.38	2040.82
1985	163.5	68.55	126.56	105.47	137.11	100.2	131.8	163.48	131.84	142.38	195.12	126.56	1592.59
1986	100.2	152.93	121.29	163.48	126.56	116	58.01	110.74	142.38	316.41	195.12	42.19	1645.33
1987	26.37	31.64	179.3	121.29	116.02	42.19	84.38	121.29	158.2	295.31	221.48	84.38	1481.85
1988	147.7	131.84	52.73	290.04	158.2	147.7	168.8	226.76	205.66	163.48	253.12	168.75	2114.65
1989	152.9	131.84	210.94	94.92	121.29	126.6	47.46	31.64	105.47	116.02	84.38	79.1	1302.55
1990	142.4	121.29	131.84	110.74	105.47	79.1	73.83	63.28	58.01	174.02	163.48	100.2	1323.64
1991	21.09	26.37	116.02	84.38	116.02	105.5	100.2	47.46	121.29	63.28	84.38	116.02	1001.98
1992	131.8	116.02	42.19	168.75	152.93	68.55	116	84.38	163.48	105.47	137.11	110.74	1397.48
1993	168.8	73.83	189.84	152.93	200.39	142.4	126.6	79.1	232.03	163.48	163.48	184.57	1877.34
1994	200.4	158.2	168.75	184.57	174.02	189.8	152.9	142.38	126.56	179.3	216.21	94.92	1988.07
1995	94.92	52.73	179.3	200.39	158.2	158.2	158.2	131.84	195.12	200.39	147.66	89.65	1766.6
1996	116	168.75	216.21	174.02	195.12	174	131.8	163.48	189.84	184.57	110.74	89.65	1914.26
1997	205.7	142.38	110.74	210.94	189.84	195.1	68.55	84.38	110.74	100.2	205.66	58.01	1682.22
1998	26.37	100.2	184.57	221.48	247.85	210.9	253.1	242.58	295.31	258.4	348.05	247.85	2636.72
1999	195.1	311.13	200.39	342.77	268.95	179.3	116	131.84	237.3	210.94	216.21	195.12	2605.09
2000	174	216.21	216.21	184.57	232.03	179.3	163.5	73.83	131.84	105.47	110.74	58.01	1845.71
2001	79.1	42.19	84.38	84.38	68.55	47.46	21.09	52.73	73.83	63.28	126.56	126.56	870.11
2002	26.37	10.55	68.55	142.38	89.65	89.65	58.01	31.64	73.83	116.02	189.84	110.74	1007.23
2003	10.55	79.1	94.92	116.02	63.28	58.01	42.19	47.46	26.37	189.84	73.83	47.46	849.03
2004	89.65	42.19	26.37	89.65	110.74	*	21.09	*	36.91	179.3	226.76	89.65	912.31
2005	42.19	31.64	42.19	89.65	94.92	58.01	42.19	63.28	42.19	121.29	137.11	73.83	838.49
2006	58.01	73.83	94.92	94.92	42.19	116	21.09	26.37	68.55	94.92	89.65	79.1	859.57
2007	42.19	15.82	63.28	126.56	73.83	10.55	47.46	26.37	58.01	121.29	63.28	89.65	738.29
2008	68.55	110.74	121.29	121.29	152.93	63.28	15.82	31.64	36.91	126.56	179.3	126.56	1154.87
2009	68.55	79.1	147.66	68.55	31.64	73.83	31.64	100.2	47.46	58.01	52.73	68.55	827.92
2010	*	36.91	31.64	221.48	126.56	100.2	142.4	79.1	105.47	116.02	242.58	168.75	1371.09
2011	36.91	147.66	110.74	258.4	105.47	68.55	126.6	36.91	63.28	168.75	290.04	205.66	1618.93
2012	184.6	84.38	131.84	184.57	126.56	58.01	36.91	73.83	58.01	179.3	174.02	116.02	1408.02
2013	26.37	147.66	147.66	131.84	247.85	63.28	36.91	100.2	100.2	210.94	163.48	147.66	1524.05
2014	73.83	105.47	110.74	210.94	158.2	58.01	15.82	31.64	84.38	163.48	179.3	110.74	1302.55
2015	68.55	79.1	163.48	147.66	68.55	15.82	52.73	31.64	42.19	121.29	126.56	15.82	933.39
2016	42.19	26.37	131.84	210.94	168.75	58.01	89.65	47.46	100.2	195.12	179.3	184.57	1434.4
2017	105.5	15.82	274.22	189.84	232.03	121.3	36.91	110.74	100.2	232.03	237.3	152.93	1808.78
2018	126.6	147.66	89.65	189.84	179.3	94.92	84.38	84.38	89.65	158.2	205.66	42.19	1492.39
2019	47.46	126.56	131.84	221.48	221.48	105.5	31.64	26.37	84.38	216.21	258.4	100.2	1571.49
2020	42.19	126.56	84.38	137.11	121.29	94.92	142.4	126.56	68.55	105.47	126.56	137.11	1313.08
2021	105.5	63.28	116.02	210.73	115.74	185.8	38.33	48.61	64.83	57.56	95.67	110.33	1212.39

Item	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom.
Minimos	10.55	10.55	26.37	68.55	31.64	10.55	15.82	15.82	26.37	57.56	52.73	15.82	
Promedios	99.67	101.87	129.65	168.23	147.52	108.14	82.61	88.62	110.52	165.27	170.31	115.36	123.98
Máximos	232	311.13	274.22	342.77	321.68	247.9	253.1	242.58	295.31	390.23	348.05	247.85	

Gráfica 5. Precipitación media mensual multianual estación Yotoco Aut



De acuerdo con los resultados en la

Tabla 14 la mayor precipitación se presentó en el año 1981 con un valor total de precipitación anual de 2789.63mm y el año con menores registros de lluvias se presentó en el año 2007 con un valor total anual de 738.29mm; dichos resultados son consecuentes con años en los cuales se presentaron el fenómeno de La Niña y El Niño respectivamente. La precipitación promedio de acuerdo con los datos es de 123.98mm; los datos de lluvias obedecen a una distribución de tipo bimodal con dos temporadas de lluvias bien marcadas y una temporada seca; sin embargo, el mes más lluvioso del año es el mes de noviembre con un promedio de 170.31mm y el mes más seco o con menos lluvias es julio con un valor promedio de 82.61mm.

- **Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)**

El Manual de Drenaje para Carreteras establece los procedimientos, metodologías y ecuaciones a utilizar, incluso expone diferentes metodologías que existen como lo son la de la Universidad del Cauca y la de la Universidad de los Andes las cuales son igualmente válidas y aplicables, para la determinación de las curvas IDF.

Sin embargo, para este caso en particular se procesarán los datos de lluvias y se construirán las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (Curvas IDF) mediante el método simplificado, siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración, el Manual de Drenaje⁴ establece que la metodología es la más usada para el cálculo de las curvas IDF y aclara, que se obtienen mejores resultados con la que se expone a continuación; siendo la más sencilla de utilizar.

Ecuación 3. Intensidad Método Simplificado

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

Donde:

- I: intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)
- T: periodo de retorno, en años
- M: Precipitación máxima promedio anual en 24h a nivel multianual
- t: duración de la lluvia, en minutos (min)
- a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la Tabla 15

Tabla 15 Valores de coeficientes a, b, c y d para determinación de las curvas IDF

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	1392	0.19	0.58	0.2

4 Capítulo 2 Hidrología de Drenaje Superficial Vial, Sub título 2.6.6.3 Cálculo de curvas IDF por método simplificado Pág. 2-70

Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42
----------------	------	------	------	------

De acuerdo con la zona de ubicación del municipio de Yotoco; se trabajará con los coeficientes de la región andina (R1) para la obtención de las curvas IDF asociadas a la estación de análisis.

- **Precipitaciones máximas en 24 horas**

La definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro de precipitación máxima en 24 horas, se ha basado en los datos que se presentan en la Tabla 16

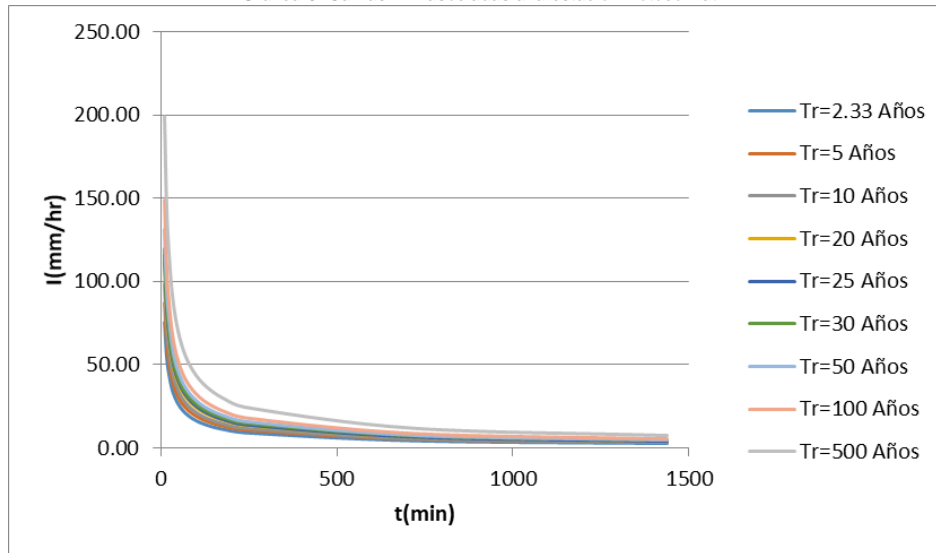
Tabla 16 Precipitaciones máximas en 24h, estación Yotoco Aut

AÑO	P(mm)
1981	32.02
1982	29.17
1983	34.44
1984	26.71
1985	58.15
1986	52.87
1987	39.83
1988	30.67
1989	29.25
1990	31.13
1991	31.2
1992	31.78
1993	31.23
1994	31.03
1995	27.2
1996	31.86
1997	34.83
1998	45.79
1999	43.24
2000	40.67
2001	27.49
2002	84.57
2003	23.42
2004	66.13
2005	28.47
2006	24.2
2007	44.84
2008	25.48
2009	18.83
2010	41.38
2011	73.98
2012	31.14
2013	27.04
2014	36.09
2015	72.51
2016	43.48
2017	55.22
2018	36.37
2019	72.51
2020	47.01
2021	30.89

Tabla 17 Valores de intensidades para diferentes periodos de retorno estación Yotoco Aut

Tiempo	CURVAS IDF ESTACION YOTOCO AUT [26085180]								
	Periodo de Retorno (Años)								
	2.33	5	10	20	25	30	50	100	500
10	75.69	86.84	98.38	111.46	116.02	119.89	131.44	148.91	198.95
15	57.92	66.45	75.28	85.29	88.78	91.74	100.58	113.95	152.23
20	47.90	54.96	62.26	70.54	73.43	75.88	83.19	94.24	125.91
30	36.66	42.06	47.65	53.98	56.19	58.06	63.66	72.11	96.35
40	30.32	34.78	39.41	44.64	46.47	48.02	52.65	59.64	79.68
50	26.17	30.02	34.01	38.53	40.11	41.45	45.44	51.48	68.77
60	23.20	26.62	30.15	34.16	35.56	36.75	40.29	45.64	60.98
70	20.95	24.04	27.24	30.86	32.12	33.19	36.39	41.22	55.08
80	19.19	22.01	24.94	28.25	29.41	30.39	33.32	37.75	50.43
90	17.75	20.37	23.07	26.14	27.21	28.12	30.83	34.92	46.66
100	16.56	19.00	21.52	24.38	25.38	26.23	28.76	32.58	43.52
110	15.55	17.84	20.21	22.90	23.84	24.63	27.00	30.59	40.87
120	14.68	16.85	19.08	21.62	22.51	23.26	25.50	28.88	38.59
130	13.93	15.98	18.10	20.51	21.35	22.06	24.18	27.40	36.60
140	13.26	15.22	17.24	19.53	20.33	21.01	23.03	26.09	34.86
150	12.67	14.54	16.47	18.66	19.42	20.07	22.00	24.93	33.31
160	12.14	13.93	15.78	17.88	18.61	19.23	21.09	23.89	31.92
170	11.67	13.39	15.16	17.18	17.88	18.48	20.26	22.95	30.66
180	11.23	12.89	14.60	16.54	17.22	17.80	19.51	22.10	29.53
240	9.29	10.66	12.08	13.68	14.24	14.72	16.14	18.28	24.42
720	4.50	5.16	5.85	6.63	6.90	7.13	7.81	8.85	11.83
1440	2.85	3.27	3.70	4.19	4.37	4.51	4.95	5.60	7.49

Gráfica 6. Curvas IDF asociadas a la estación Yotoco Aut



De acuerdo con el análisis de los datos las tres estaciones tienen resultados relativamente similares, sin embargo, teniendo en cuenta las recomendaciones del Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS 2009; se toman como datos las de la estación Bosque de Yotoco que se encuentra dentro de la zona de influencia del proyecto y de acuerdo con la altura de ubicación de 1700msnm es la más representativa en cuanto a características topográficas y climatológicas para el proyecto.

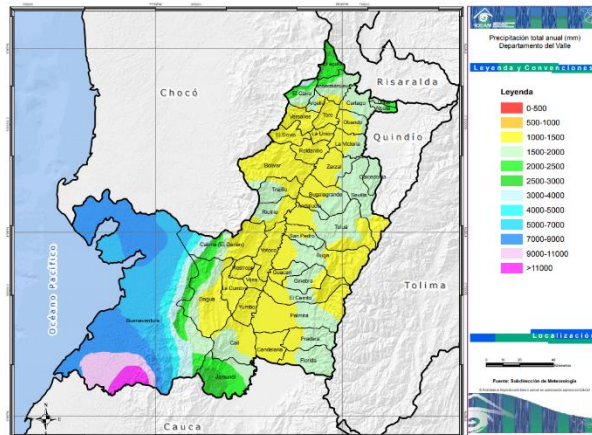
5.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

A continuación, se hace una breve descripción de los elementos meteorológicos básicos de acuerdo con lo establecido en el Manual de Drenaje para la correspondiente fase de estudio del proyecto. Estos elementos son: la precipitación total anual, el número de días de lluvia por año, la temperatura media anual en la zona de estudio y la clasificación climática entre otros aspectos; esta caracterización se desarrolla utilizando la información primaria de la página Web del IDEAM.

5.3.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (MM)

El Ideam ha generado el Atlas Interactivo de Colombia con el objetivo de tener mayor acceso a la información de manera ágil y segura, esta información se encuentra a nivel nacional y a nivel departamental. De esta manera podemos observar la Ilustración 3, en la cual se presenta el mapa del Departamento del Valle del Cauca con la información correspondiente a la precipitación total anual a nivel departamental con su división político-administrativa. Se observa que el departamento cuenta con precipitaciones que van desde 1000mm hasta valores superiores a los 11000mm al año en la zona cercana a la costa pacífica.

Ilustración 3 Mapa de precipitación total anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM

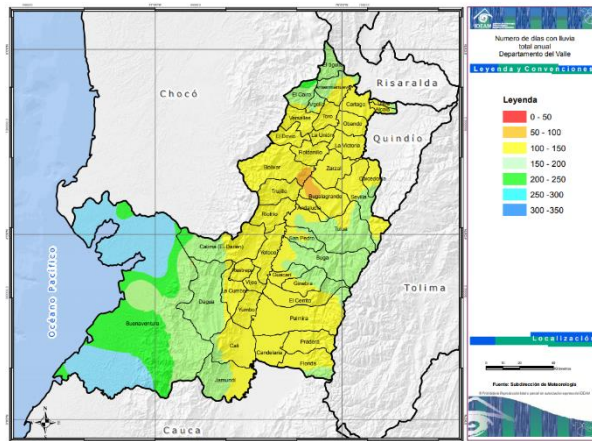


Sin embargo, para el área de estudio dentro del municipio de Yotoco se presenta una precipitación total anual que varía entre los 1000mm y 1500mm; de acuerdo con los datos de precipitaciones mensuales de la estación de análisis en el año 2010 se obtuvo un registro anual de lluvias de 1498mm, el cual se encuentra dentro del rango establecido por el IDEAM.

5.3.2. NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA

En la Ilustración 4 se presentan el mapa del departamento del Valle del Cauca en el cual se observan los rangos del número de días con lluvia total anual en la región discriminado por municipios teniéndose registros que van desde los 50 días en el municipio de Bugalagrande hasta 300 días en la zona de la costa pacífica. Sin embargo, el municipio de Yotoco presenta un promedio que varía entre 100 a 150 días al año en todo su territorio.

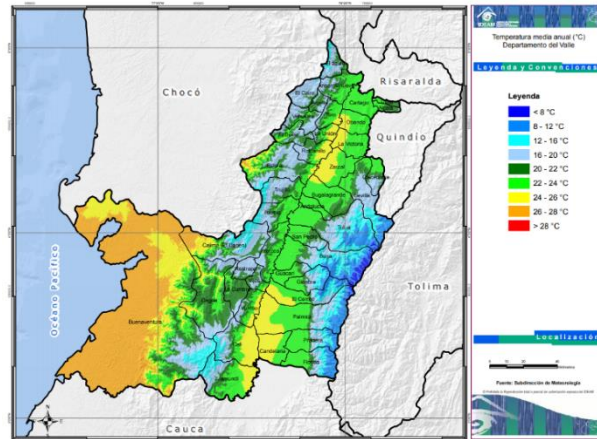
Ilustración 4 Mapa de número de días con lluvia total anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM



5.3.3. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (C°)

En la Ilustración 5 se presenta el mapa interactivo del departamento del Valle del Cauca, donde se observa que la temperatura media anual dentro de la región varía entre temperaturas menores a los 8°C en la zona cercana al Nevado del Huila y los 28° en la costa pacífica. Para el municipio de Yotoco se observa que la temperatura varía entre 16°C hasta 24°C; sin embargo, la zona donde se encuentra localizado el proyecto presenta un rango entre 20°C y 22°C.

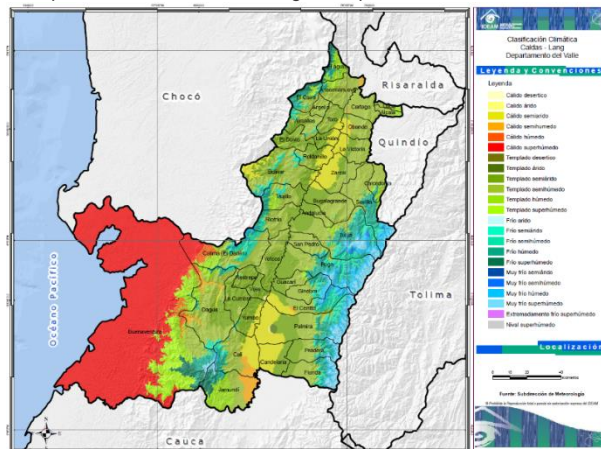
Ilustración 5 Mapa de Temperatura media anual, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM



5.3.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

En el mapa interactivo del IDEAM correspondiente al departamento del Valle del Cauca, se encuentra una variación climatológica concordante con la variación de pisos térmicos, teniendo en cuenta que el departamento se ve interceptado por las cordilleras oriental, central y occidental, es así como se ve que el clima del departamento varía de cálido árido hasta nival súper húmedo. Dentro de estos rangos el municipio de Yotoco tiene una clasificación climática que varía entre templado árido hasta templado semihúmedo; sin embargo, el área donde se desarrolla el proyecto tiene un clima templado semihúmedo. (ver Ilustración 6)

Ilustración 6 Mapa de Clasificación Climatológica, Departamento del Valle del Cauca - IDEAM

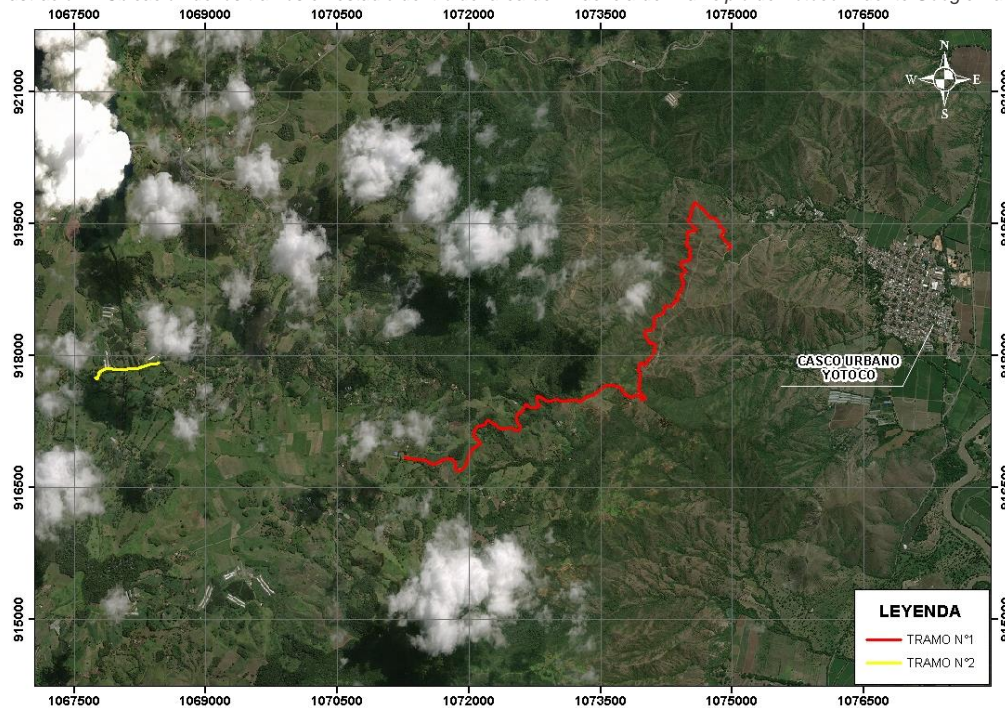


5.4. CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE, GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Los tramos a intervenir cuentan con una calzada angosta con un ancho que varía entre 3.5 – 5.0m con un manejo aceptable de las aguas de escorrentía mediante cunetas en tierra que debido a la falta de mantenimiento presentan disminución en su área hidráulica útil; es por esto, que se presentan hundimientos y deformaciones que hacen incomodo el tránsito vehicular. El primer tramo presenta una topografía variable entre montañosa y escarpada, específicamente desde la abscisa K2+570 hasta la K9+550 se tienen pendientes escarpadas que varían entre 50 y 75%; el sector final entre el K9+550 y el K10+298 se presentan pendientes que varían entre 12 y 25% características del terreno montañoso.

El segundo tramo presenta una topografía más suave entre plana y ondulada con pendientes que no superan los 12%; hay presencia de algunas viviendas en las márgenes de los tramos y se observa una cobertura del suelo con presencia de pastos, arbustos y árboles de tamaños variables.

Ilustración 7 Ubicación de los tramos en estudio dentro del área de influencia del Municipio de Yotoco- Fuente Google Earth

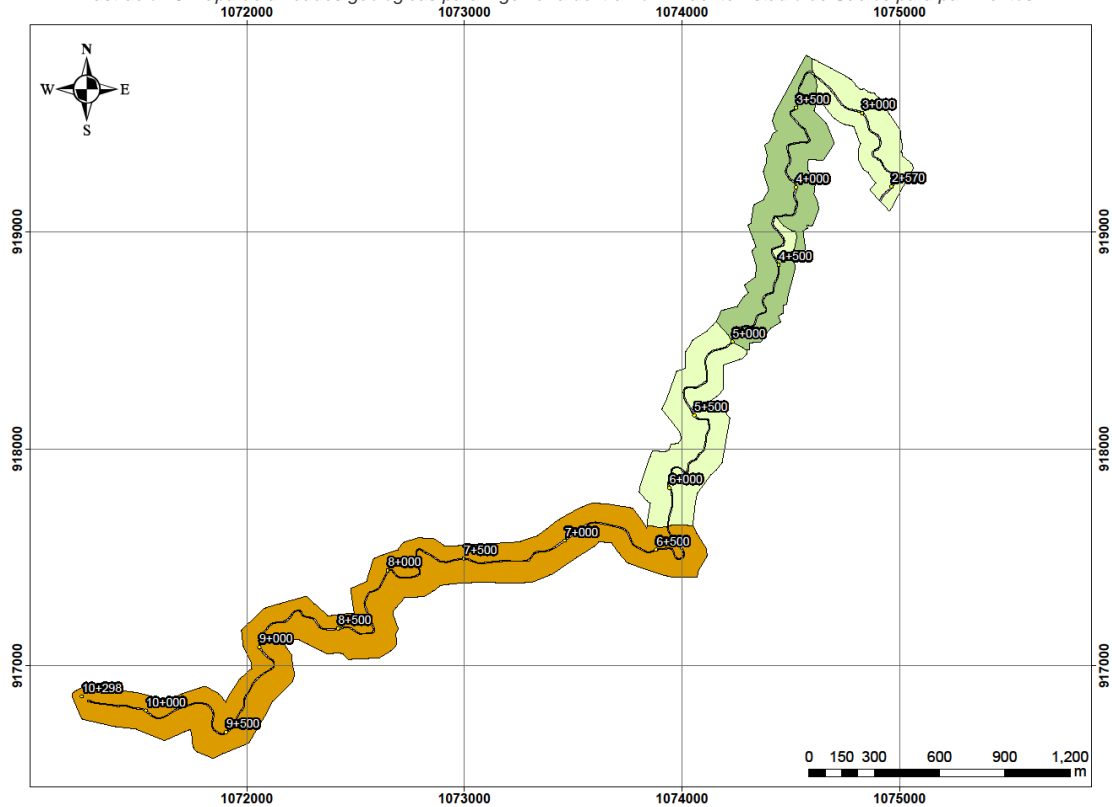


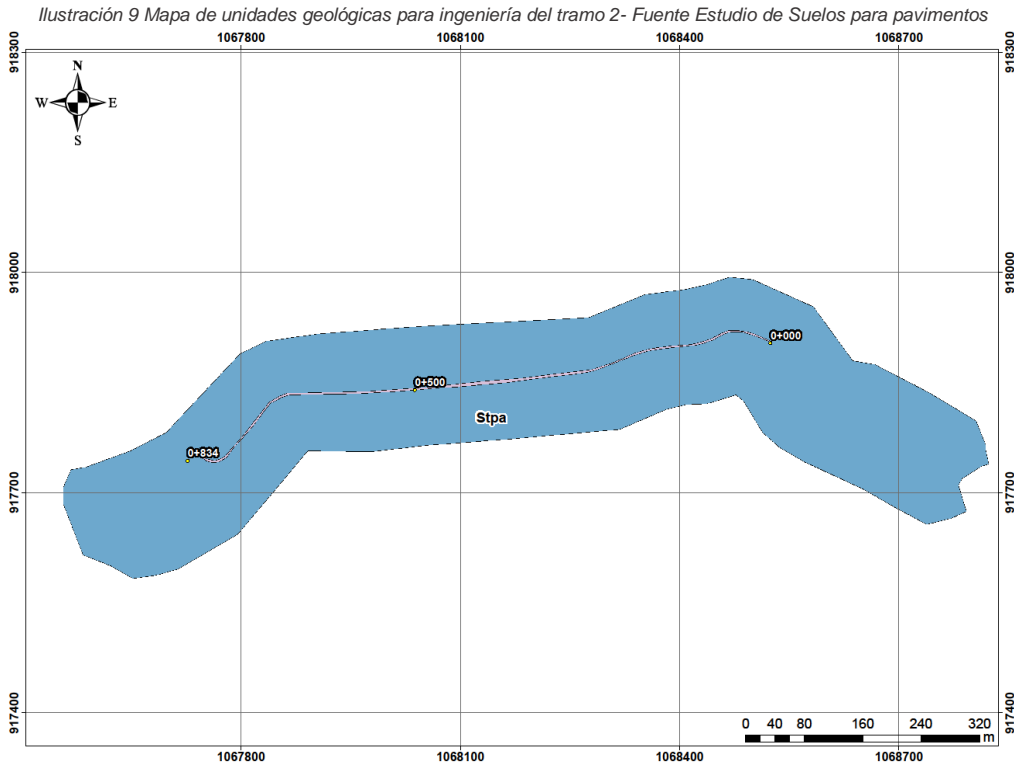
De acuerdo con el estudio de suelos para pavimento en el sector de estudio se encontraron unidades geológicas de roca inalterada, suelos residuales, depósitos aluviales y antrópicos característicos de la formación de la zona.

Tabla 18 Unidades de geología para ingeniería para los sectores de estudio. - Fuente Estudio de Suelos para pavimentos

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN	TIPO DE UGS	NOMBRE	NOMENCLATURA
Roca	Roca inalterada	Roca intermedia	Roca intermedia de la Formación Volcánica	Rifv
		Roca blanda	Roca blanda de la Formación Volcánica	Rbfv
Suelo	Derivada de roca in situ	Suelo residual	Suelo residual de la Formación Volcánica	Srfv
	transportado	Depósitos aluviales	Suelo transportado de planicie aluvial	Stpa
		Depósitos antrópicos	Suelo antrópico de afirmado para la vía	Stav

Ilustración 8 Mapa de unidades geológicas para ingeniería del tramo 1- Fuente Estudio de Suelos para pavimentos





En el primer sector entre el K2+570 hasta el K6+200 se encuentran rocas intermedias moderadamente meteorizadas y rocas blandas completamente meteorizadas. Entre el K3+300 hasta el K5+000 se tienen rocas tipo diabasas, lavas almohadilladas, basaltos y gabros incluyen también diques de dolerita de la Formación Volcánica la cual se encuentra compuesta por material sedimentado compuesto por pizarras, filitas, shales carbonosos, limolitas, areniscas, chert y en algunos puntos específicos calizas.

La roca blanda se encuentra entre el K2+570 al K3+200, K4+200 al K4+400 y desde el K5+000 hasta el K6+200; la unidad contiene rocas tipo diabasas, lavas almohadilladas, basaltos y gabros de la Formación Volcánica. La formación contiene numerosos horizontes y lentes sedimentarios compuestos por pizarras, filitas, shales carbonosos, limolitas, areniscas, chert y localmente calizas.

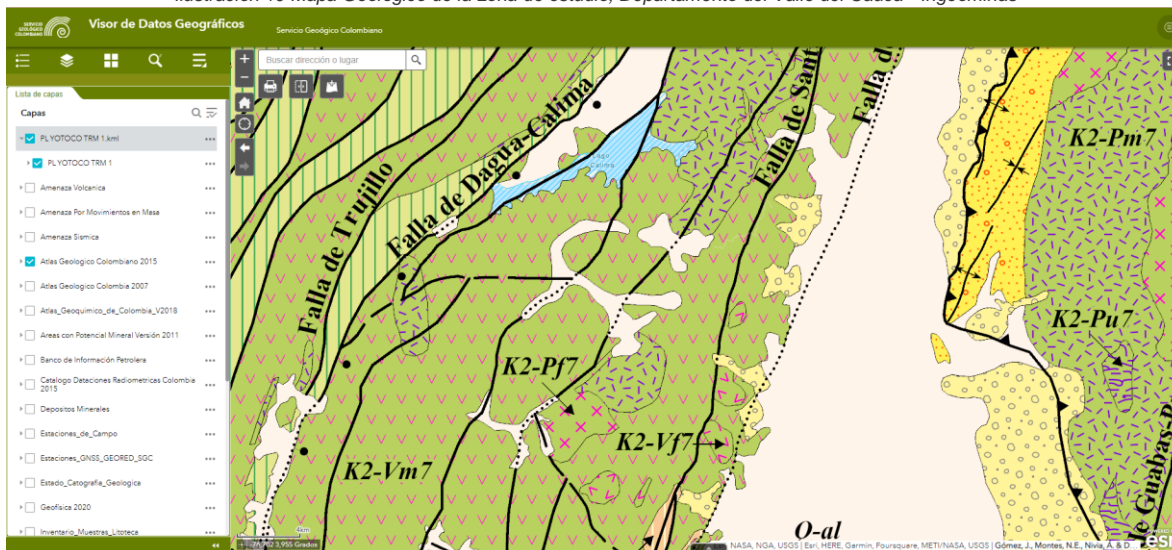
Se presentan en la zona también suelos de tipo residual los cuales son originados in situ por efecto del proceso de meteorización de las rocas, estos suelos presentan características de cohesión marcada y evidencia de textura limosa. Estos suelos se identificaron desde el K6+200 hasta el K10+298, la roca se encuentra totalmente descompuesta y desintegrada a suelo; su estructura original se encuentra destruida con características limoso sin estructuras heredadas, tiene una plasticidad alta y humedad media.

La unidad de suelo transportado son depósitos originados por la acumulación del material arrastrado o transportado por acción del agua, hielo, viento, erupciones volcánicas o por efecto de la gravedad. Se componen de partículas sólidas y pueden tener materia orgánica, son de carácter granular heterogéneo, no cohesivos y no consolidados

El suelo transportado de planicie aluvial se observó a lo largo de todo el tramo 2, desde el K0+000 hasta el K0+834. Este material se caracteriza porque son depósitos de material muy fino (arenas y limos) , que se han depositado en zonas semiplanas como producto del lavado y transporte continuo de suelos por erosión superficial lamirar, cuyo medio de transporte es el agua de escorrentia básicamente. Su matriz es de textura limosa de consistencia media con alta plasticidad y humedad media.

La unidad de suelo antrópico es clasto soportado, es decir 65% matriz y 35% clastos de color café amarilloso de textura granular. Constituido por una matriz fino arenosa con baja plasticidad y con bastantes clastos embebidos. Entre los clastos se presentan una buena cantidad de gravas que van desde gránulos a guijarros de fragmentos líticos, de formas angulares bajamente meteorizados de tonalidades blancas, gris claro a gris oscuro; este suelo se encuentra básicamente en el sector final del tramo 1.

Ilustración 10 Mapa Geológico de la zona de estudio, Departamento del Valle del Cauca - Ingeominas



Susceptibilidad Alta: Corresponde al 39.48% del área total de la plancha, predominan en el segmento de cordillera central (municipio de Buga y oriente de los municipios de Palmira, El Cerrito, Ginebra y Guacarí) que abarca la plancha y el piedemonte oriental de la cordillera occidental (oriente de los municipios de Yotoco, Vijes y Yumbo). Agrupa unidades geomorfológicas de tipo estructural, denudacional, y en la cordillera central, glacial; presenta modelado agradacional; pendientes medias a muy altas y rugosidades bajas a altas. En estas zonas se pueden esperar movimientos en masa de tipo deslizamientos tanto rotacionales como traslacionales y algunas caídas de suelo, que podrían causar

obstrucciones en las vías de acceso, afectando la movilidad de la población y la actividad agrícola de la región.

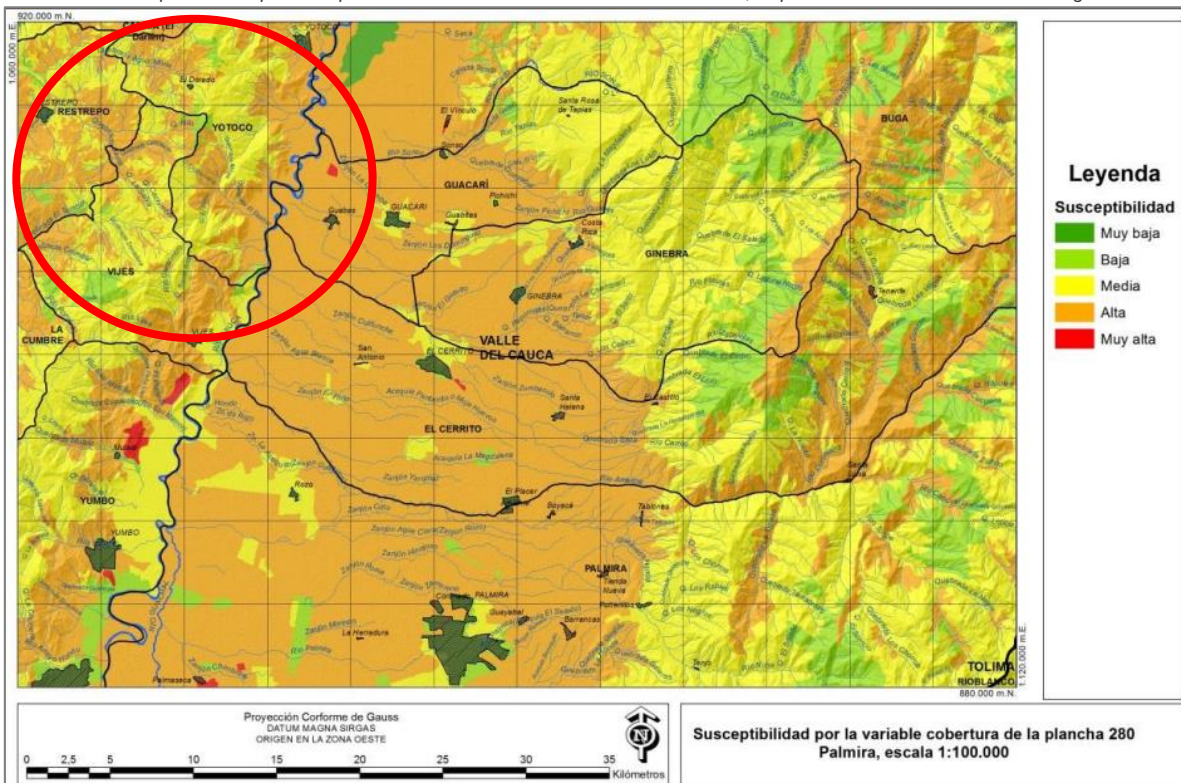
Susceptibilidad Media: Corresponde al 27.96% del área total de la plancha, predominan en el piedemonte occidental de la cordillera central (centro de los municipios de Palmira, El Cerrito, Ginebra y Guacarí) y en el costado occidental de la cordillera Occidental (municipios La Cumbre, Restrepo y occidente de los municipios de Vijes y Yotoco). Agrupa unidades geomorfológicas de tipo estructural y denudacional; presenta modelado predominantemente degradacional; pendientes medias a altas y rugosidades bajas a altas. En estas zonas se pueden esperar movimientos en masa de tipo deslizamientos tanto rotacionales como traslacionales y algunas caídas de suelo, que podrían causar obstrucciones en las vías de acceso, afectando la movilidad de la población y la actividad agrícola de la región.

5.5. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

De acuerdo con la Ilustración 11, la mayor parte del territorio que se presenta en la plancha 280, se encuentra en categorías de susceptibilidad alta por cobertura debido al predominio de los cultivos y pastos en el valle del Río Cauca y otras áreas agropecuarias en los flancos de las cordilleras occidental y central. Le siguen en orden de área de ocurrencia la categoría de susceptibilidad media en coberturas agropecuarias mezcladas con áreas naturales, especialmente en la zona montañosa de las dos cordilleras. Tanto en la susceptibilidad alta como media se encuentran herbazales y arbustos que en el caso de la cordillera central sobre los 3.000m aproximadamente corresponderían a vegetación de páramo (Páramos de Motoas, Pan de Azúcar, Los Domínguez y El Reflejo), los cuales por las condiciones naturales se encontrarían realmente en una susceptibilidad menor. En tercer lugar, se encuentra la categoría baja con los bosques de tierra firme y riparios de las dos cordilleras. Las susceptibilidades muy altas y muy bajas no superan el 1% del territorio.

El municipio de Yotoco en el sector de estudio se encuentra en una susceptibilidad media la cual corresponde principalmente a coberturas de bosques fragmentados, vegetación secundaria, plantaciones forestales, mosaicos de pastos y/o cultivos con espacios naturales, arbustos y herbazales arbolados, para estos dos últimos los que se encuentran ubicados en la cordillera central corresponden en su mayoría a vegetación de páramo (Páramos de Motoas, Pan de Azúcar, Los Domínguez y El Reflejo). La susceptibilidad media está dada en estas coberturas principalmente por la presencia de dos o tres estratos, sistemas radiculares superficiales a moderados (hasta muy profundos en la vegetación secundaria y bosques fragmentados) y drenaje profundo a superficial.

Ilustración 11 Mapa de susceptibilidad por coberturas de la tierra Plancha 280 – Palmira, Departamento del Valle del Cauca - Ingeominas5



5.6. PARAMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES

Además del efectuar el análisis de los registros de lluvias y determinar las curvas IDF asociadas a la estación de estudio se deben determinar otros parámetros básicos para obtener los caudales de diseño de cada uno de los drenajes y posteriormente hacer el dimensionamiento y chequeo hidráulico de las secciones de las obras a implementar mediante el uso de programas computacionales recomendados por el manual. Estos parámetros son los que se listan a continuación:

5.6.1. PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido un evento extremo, es decir; es la frecuencia con que se presenta un evento (Melise y Reason, 2007); uno de los parámetros indispensables en el diseño de estructuras de drenaje porque el periodo de retorno se asocia a una intensidad de diseño obtenida del análisis de las lluvias - escorrentía; en conformidad con el Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS 2009. Actualmente se tienen establecidos unos

5 Memoria explicativa de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000- Plancha 280 – Palmira. Abril 2015

periodos de retorno de acuerdo con el tipo de estructura a implementar como se observa en la Tabla 19, estos periodos de retorno han sido adecuados debido que a través de la experiencia en muchos proyectos dan diseños moderados y muy eficientes para los proyectos que se han planteado a nivel nacional.

Tabla 19 Periodos de retorno según tipo de obra. Fuente: Invias 2009

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.50 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

Por consiguiente, se tendrán en cuenta los periodos de retorno recomendados en el Manual de Drenaje para el chequeo y dimensionamiento de estructuras de drenaje tipo cunetas, alcantarillas de 0.90m de diámetro y box culvert en el caso que se requiera. Es válido aclarar que dentro de la zona de estudio y teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto, se recomienda el reemplazo de las obras tipo alcantarillas de 24" por alcantarillas de 36" teniendo en cuenta que en estas zonas el mantenimiento preventivo de las obras es nulo.

5.6.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar las perdidas por evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, entre otros. El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1; este coeficiente depende de la zona o área de estudio y de los materiales que constituyen la superficie de drenaje; teniendo en cuenta que las áreas de drenaje son heterogéneas en especial donde hay presencia de taludes y calzada se deberá tener en cuenta el promedio de los dos coeficientes.

De acuerdo con el estudio de suelos, se tiene un suelo relativamente homogéneo a lo largo de los tres tramos con una clasificación MH; el cual corresponde a limos inorgánicos, suelos

limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos característicos de ambientes marinos, naturaleza orgánica silíceo; suelos generalmente elásticos.

Teniendo en cuenta la cobertura, textura del suelo y pendiente de la zona del proyecto, se definió el coeficiente de escorrentía, teniendo los valores establecidos en la Tabla 20 del Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS 2009.

Tabla 20 Coeficientes de Escorrentía. Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras Invias

Vegetación y topografía	Textura del suelo		
	Franco arenoso	Franco limo arcilloso	Arcilloso
Bosques			
Plano	0.1	0.3	0.4
Ondulado	0.25	0.35	0.5
Montañoso	0.3	0.5	0.6
Pastos			
Plano	0.1	0.3	0.4
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.6
Tierras cultivadas			
Plano	0.3	0.5	0.5
Ondulado	0.4	0.6	0.7
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0-5%), Ondulado (pendiente 5-10%), Montañoso (pendiente 10-30%). Para valores mayores al 30%, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30%.

De acuerdo con la topografía de la zona el primer tramo se encuentra con pendientes entre 50 – 75%; por lo tanto, se utilizarán los rangos de valores para terreno montañoso entre (10-30%) de acuerdo a la recomendación del manual de drenaje; por otro lado, la estructura o textura del suelo de acuerdo con el estudio de suelos tiende a ser de roca meteorizadas con presencia de limos y la vegetación que predomina son pastos con presencia de arbustos y árboles de tamaños variables. En consecuencia, para el cálculo de caudales se trabajará con el coeficiente de escorrentía 0.42 característico de suelos limo arcillosos con vegetación de pastos y topografía montañoso.

Para el segundo tramo de intervención se toma como pendiente del terreno entre 5- 10% característico de un suelo ondulado con presencia de algunos cultivos de pan coger como, pero donde predominan los pastos, arbustos y árboles de variados tamaños en menor porcentaje; por lo tanto, para efectos del cálculo de caudales se toma 0.36 como coeficiente de escorrentía.

5.6.3. AREAS DE DRENAJE

Un área de drenaje es una porción de tierra sobre la cual el agua de la lluvia transita hasta un punto de interés particular o hasta un punto de entrega ya sea un río, un lago o el mar. La red de drenaje se refiere a la red natural de transporte gravitacional de agua, sedimento o contaminantes, formada por ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia y en países con estaciones se debe tener en cuenta la nieve.

Dentro de la zona de estudio el proyecto intercepta drenajes superficiales formados por la escorrentía superficial los cuales en épocas de verano permanecen secos; por lo tanto, se clasifican como intermitentes. A continuación, se presentan las áreas aferentes de cada uno de los drenajes existentes en las zonas de estudio; así:

Tabla 21. Áreas aferentes drenajes tramo 1

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K02+679.8	Alcantarilla	I-D	X		1.013	0.010
K02+757.7	Alcantarilla	I-D		X	2.488	0.025
K02+905.0	Alcantarilla	I-D		X	2.236	0.022
K03+151.6	Alcantarilla	I-D		X	2.230	0.022
K03+328.6	Alcantarilla	I-D		X	0.165	0.002
K03+451.4	Alcantarilla	I-D	X		1.525	0.015
K03+568.8	Alcantarilla	I-D		X	0.231	0.002

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K03+642.6	Alcantarilla	I-D	X		0.333	0.003
K03+689.5	Alcantarilla	I-D		X	1.601	0.016
K03+721.6	Alcantarilla	I-D		X	0.411	0.004
K03+864.6	Alcantarilla	I-D	X		0.607	0.006
K03+958.3	Alcantarilla	I-D		X	0.259	0.003
K03+979.5	Alcantarilla	I-D		X	0.259	0.003
K04+005.8	Alcantarilla	I-D	X		0.498	0.005
K04+073.1	Alcantarilla	I-D		X	0.365	0.004
K04+142.8	Alcantarilla	I-D		X	1.170	0.012
K04+337.7	Alcantarilla	I-D		X	0.609	0.006

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K04+362.6	Alcantarilla	I-D	X		0.812	0.008
K04+459.0	Alcantarilla	I-D		X	0.748	0.007
K04+630.9	Alcantarilla	I-D		X	0.521	0.005
K04+737.5	Alcantarilla	I-D		X	1.827	0.018
K04+851.3	Alcantarilla	I-D		X	0.879	0.009
K04+945.7	Alcantarilla	I-D		X	0.066	0.001
K04+999.2	Alcantarilla	I-D		X	1.137	0.011
K05+069.0	Alcantarilla	I-D		X	0.972	0.010
K05+253.7	Alcantarilla	I-D		X	1.362	0.014
K05+301.0	Alcantarilla	I-D		X	0.397	0.004

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K05+400.0	Alcantarilla	I-D		X	0.316	0.003
K05+479.1	Alcantarilla	I-D		X	0.455	0.005
K05+534.1	Alcantarilla	I-D		X	1.334	0.013
K05+570.5	Alcantarilla	I-D		X	0.511	0.005
K05+715.8	Alcantarilla	I-D		X	4.309	0.043
K05+842.6	Alcantarilla	I-D		X	1.123	0.011
K05+954.5	Alcantarilla	I-D		X	1.848	0.018
K06+061.6	Alcantarilla	I-D		X	1.223	0.012
K06+323.0	Alcantarilla	D-I		X	0.157	0.002
K06+488.8	Alcantarilla	D-I	X		0.106	0.001
K06+689.2	Alcantarilla	D-I	X		4.412	0.044

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K06+960.0	Alcantarilla	D-I	X		2.347	0.023
K07+225.5	Alcantarilla	D-I	X		12.329	0.123
K07+522.8	Alcantarilla	D-I	X		22.250	0.223
K07+726.2	Box	D-I		X	29.230	0.292
K07+844.1	Alcantarilla	D-I		X	0.763	0.008
K07+993.9	Alcantarilla	D-I		X	9.285	0.093
K08+144.6	Alcantarilla	D-I		X	5.051	0.051
K08+298.1	Alcantarilla	D-I		X	1.181	0.012
K08+338.7	Alcantarilla	D-I		X	0.157	0.002
K08+460.6	Alcantarilla	D-I		X	1.326	0.013

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K08+585.4	Alcantarilla	D-I		X	0.791	0.008
K08+715.6	Alcantarilla	D-I		X	4.628	0.046
K08+920.0	Alcantarilla	D-I		X	2.112	0.021
K09+242.5	Alcantarilla	D-I		X	4.607	0.046
K09+600.0	Alcantarilla	D-I		X	1.462	0.015
K09+760.0	Alcantarilla	D-I		X	2.269	0.023
K10+041.3	Alcantarilla	D-I		X	1.154	0.012
K10+127.8	Alcantarilla	D-I		X	0.403	0.004
K10+268.0	Alcantarilla	D-I		X	0.375	0.004

Tabla 22. Áreas aferentes drenajes tramo 2

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección de drenaje	Estado		Áreas aferentes	
			Nueva	Existente	ha	km2
K00+046.9	Alcantarilla	D-I		X	1.013	0.010
K00+334.3	Alcantarilla	D-I		X	2.488	0.025
K00+500.0	Alcantarilla	D-I		X	2.236	0.022

5.6.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el dato más importante en el análisis de los métodos lluvia – escorrentía y se define como el tiempo en que tarda en llegar una gota de agua superficial desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de interés. Transcurrido este tiempo se considera que toda la cuenca, subcuenca o microcuenca está aportando caudales al drenaje y será el caudal máximo en el punto considerado.

Dentro de los modelos lluvia – escorrentía es un dato esencial debido que a través de él se determina la lluvia de diseño o precipitación de diseño, el tiempo de concentración calculado se hace igual al tiempo de concentración de la lluvia, teniendo en cuenta que es para esta duración de lluvia cuando la cuenca aporta al proceso de escorrentía, por consiguiente, se puede decir que es durante este tiempo que se presentan los caudales máximos. Para el cálculo de los tiempos de concentración existen varias metodologías empíricas de acuerdo con la literatura y al Manual de Drenaje de Carreteras – INVIAS 2009; algunas de ellas se muestran a continuación:

Ecuación 4. Ecuación de Kirpich

$$T_C = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

TC: tiempo de concentración, en horas (h)

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 5. Ecuación de Temez

$$T_C = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en horas (h)
L: longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

Ecuación 6. Ecuación de Williams

$$T_C = 0.683 \left(\frac{LA^{0.4}}{DS^{0.25}} \right)$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²)
D: Diámetro de una cuenca circular con área "A", en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

Ecuación 7. Ecuación de Johnstone y Cross

$$T_C = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por kilómetro (m/km)

Ecuación 8. Ecuación de Giandotti

$$T_C = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3(LS)^{0.5}}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 9. Ecuación de SCS – Ranser

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

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)

- L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal en metros

Ecuación 10. Ecuación de Ventura - Heras

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

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%)

Ecuación 11. Ecuación de Ven Te Chow

$$T_C = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 12. Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

$$T_C = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
L: Longitud del cauce principal, en Kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 13. Ecuación de Hathaway

$$T_C = \frac{36.36(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en minutos (min)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)
S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m)
N: Factor de rugosidad, adimensional; de acuerdo con la

Tabla 23 Factor de rugosidad Ecuación de Hathaway

TIPO DE SUPERFICIE	n
Uniforme con suelo impermeable	0.02
Uniforme con suelo desnudo suelto	0.10
Suelo pobre en hierba, con cosecha en hileras o moderadamente rugoso y desnudo	0.20
Pastos	0.40
Bosques maderables desarrollados	0.60
Bosques maderables de coníferas, o bosques maderables desarrollados con una capa profunda de humus vegetal o pastos	0.80

Ecuación 14. Ecuación de Izzard

$$T_c = \frac{134.5964(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en minutos (min)
 I: intensidad de la lluvia, en milímetros por hora (mm/h)
 C: coeficiente de retardo, adimensional. Igual a 0.0070 para pavimentos lisos, 0.012 para pavimentos rugosos o de concreto y 0.06 para superficies densas de pastos.
 L: longitud del cauce principal, en metros (m)
 S: pendiente total del cauce principal en metros por metro (m/m)

Ecuación 15. Ecuación de Federal Aviation Administration

$$T_c = \frac{3.261(1.1 - C)L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en minutos (min)
 C: Coeficiente de escorrentía, del método racional, adimensional
 L: Longitud del cauce principal, en metros (m)
 S: Pendiente del cauce principal, en porcentaje (%)

Ecuación 16. Ecuación de la Onda Cinemática

$$T_c = \frac{6.998L^{0.60}n^{0.60}}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en minutos (min)
i: Intensidad de la lluvia, en milímetros por hora (mm/h)
n: Coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie, adimensional
L: longitud del cauce principal, en metros (m)
S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 17. Ecuación de retardo de SCS

$$T_c = \frac{\frac{10}{6}L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.70}}{14104C]N^{0.70}S^{0.5}}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en horas (h)
CN: Numero de curva del SCS
L: longitud del cauce principal, en metros (m)
S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m)

Ecuación 18. Ecuación de George Rivero

$$T_c = \frac{16L}{(1.05 - 0.2p)(100S)^{0.04}}$$

Donde:

- TC: tiempo de concentración, en minutos (min)
p: Relación entre el área de la hoya cubierta de vegetación y el área total de la misma, valor adimensional
S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m)
L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km)

Ecuación 19. Método de la Velocidad del SCS

$$T_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$$

Donde:

- TC: Tiempo de concentración, en minutos (min)
L: Longitud del cauce en el tramo del canal, en metros (m)
V: Velocidad promedio del agua en el tramo de canal, en metros por segundo (m/s).

En la Tabla 24 se establecen los valores típicos para canales naturales con diferentes pendientes.

Tabla 24 Velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce

DESCRIPCIÓN DEL CURSO DE AGUA	PENDIENTE EN PORCENTAJE			
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	12 o más
	VELOCIDAD (m/s)			
Flujo no concentrado ¹				
Bosques	0 - 0.46	0.46 - 0.76	0.76 - 0.99	0.99 o más
Pastizales	0 - 0.76	0.76 - 1.07	1.07 - 1.30	1.30 o más
Cultivos	0 - 0.91	0.91 - 1.37	1.37 - 1.68	1.68 o más
Pavimentos	0 - 2.59	2.59 - 4.12	4.12 - 5.18	5.18 o más
Flujo concentrado ²				
Canal de salida	La ecuación de Manning determina la velocidad			
Canal natural no bien definido	0 - 0.61	0.61 - 1.22	1.22 - 2.13	2.13 o más

¹ Esta condición usualmente ocurre en las partes superiores de la cuenca, antes de que el flujo superficial se acumule en un canal.

² Estos valores varían con el tamaño del canal y otras condiciones. Cuando sea posible, se deben hacer determinaciones más precisas para condiciones particulares mediante la ecuación de velocidad en canales de Manning.

De acuerdo con las áreas obtenidas los tiempos de concentración son menores al mínimo recomendado por el Manual de Drenaje para Carreteras; por lo tanto, se toma 15 minutos como tiempo de concentración de diseño.

5.7. METODOLOGIAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES

La hidrometeorología es el estudio de la meteorología aplicada a los parámetros hídricos. La teoría hidrometeorológica en general, comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en reservorios y lagunas; y de los elementos meteorológicos, fundamentalmente la precipitación pluvial.

Las teorías hidrometeorológicas para el cálculo de caudales máximos son las siguientes: Método Racional, el cual comprende determinación de coeficiente de escurrimiento C, Curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración y cálculos de tiempos de concentración, este método tiene como limitante el área de las cuencas teniendo como valor máximo cuencas con áreas inferiores o iguales a 2.5km²; Hidrogramas Unitarios, los cuales se dividen en Sintéticos (Snyder, Triangular, Sintético y SCS), para el presente estudio se establece como método de cálculo el Método del Hidrograma Unitario de la SCS teniendo en cuenta que es el método que involucra aspectos fundamentales de las cuencas de estudio sin importar el tamaño del área de drenaje y los Métodos Estadísticos los cuales correlacionan los datos de las estaciones pluviométricas con los datos de las estaciones hidrológicas; sin embargo, en la región de estudio solo se cuenta con los datos de las estaciones pluviométricas convencionales, por lo tanto, se descarta el uso de los Métodos Estadísticos.

Estas metodologías son conocidas también como Modelos Lluvia – escorrentía y son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener una medida directa de caudales de drenaje; estos métodos calculan la escorrentía superficial en cualquier drenaje a través de los datos históricos de lluvia de corta duración existentes en la cuenca de interés y representativos de ella, aplicados a un drenaje con características geométricas, de suelos, vegetación entre otros parámetros únicos para cada uno, calculando el caudal máximo

instantáneo de escorrentía sobre la superficie de estudio. A continuación, se describen los métodos a utilizar.

5.7.1. MÉTODO RACIONAL

El Método Racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a una determinada lluvia de diseño. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural, tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la determinación de Caudales Máximos; sin embargo, presenta como limitante el área de la cuenca de estudio siendo posible la evaluación de cuencas con áreas menores o iguales a 2.5km².

El método racional parte de la definición del coeficiente de escorrentía C, valor adimensional, el cual se puede definir como la relación entre el volumen de escorrentía superficial, V_E, y el volumen de precipitación total, V_p, ambos expresados en m³, así:

$$C = \frac{V_{\text{escorrentía superficial}}}{V_{\text{Precipitación total}}} = \frac{V_E}{V_P} = \frac{\frac{V_E}{t}}{\frac{V_P}{t}}$$

Donde:

$$\frac{V_E}{t} = Q_E$$

y:

$$\frac{V_P}{t} = iA$$

Donde:

Q_E: Caudal de escorrentía superficial, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

i: Intensidad de precipitación, en metros por segundo (m/s).

t: Tiempo de duración de la lluvia, en segundos (s).

A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica, en metros cuadrados (m²)

Entonces:

$$C = \frac{Q_E}{iA}$$

El numerador representa el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo de duración de la lluvia y el denominador representa el volumen de lluvia por unidad de tiempo de esta duración.

$$Q_E = CiA$$

Al utilizar la fórmula racional, se supone que el caudal QE toma un valor de caudal máximo (pico) QP, cuando, debido a una cierta intensidad de lluvia sobre el área de drenaje, es producido por esa precipitación que se mantiene por un tiempo igual al periodo de concentración del caudal en el punto en consideración. Teóricamente, éste es el tiempo de concentración, el cual se define como el tiempo requerido para que la escorrentía superficial fluya desde la parte más alejada de la cuenca hasta el punto de interés.

Entonces, QP corresponde a una lluvia de intensidad i sobre un área de drenaje A, lluvia ésta que dure, como mínimo, un tiempo tal que toda el área de drenaje contribuya a la escorrentía superficial, siendo QP el caudal máximo de escorrentía superficial, el cual está dado por:

$$Q_P = CiA$$

Ahora bien, si A está dado en km², i en mm/h y Qp en m³/s, la anterior ecuación queda igual a:

$$Q_P = 0.278CiA$$

Donde:

Constante de transformación de unidades: 0.278

C: coeficiente de escorrentía (tramo 1: 0.42; tramo 2: 0.50)

I: intensidad de la lluvia de diseño (mm/h)

La aplicación de la fórmula racional depende del coeficiente de escorrentía que se determinó anteriormente. Por lo tanto, el método racional se aplicará para áreas de drenaje menores o iguales a 2.5Km².

Teniendo en cuenta que todas las obras del tramo 1 tienen áreas menores a 2.5km² se determinan sus caudales de diseño como se presenta en la siguiente tabla

Tabla 25 Caudales de diseño tramo 1

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Áreas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km ²				m ³ /s
K02+679.8	Alcantarilla	I-D	1.013	0.010	15	0.42	65.72	0.077744
							74.45	0.088071
							84.35	0.099782
K02+757.7	Alcantarilla	I-D	2.488	0.025	15	0.42	65.72	0.190937
							74.45	0.216301

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
							84.35	0.245063
K02+905.0	Alcantarilla	I-D	2.236	0.022	15	0.42	65.72	0.171601
							74.45	0.194396
							84.35	0.220245
K03+151.6	Alcantarilla	I-D	2.230	0.022	15	0.42	65.72	0.171108
							74.45	0.193806
							84.35	0.219577
K03+328.6	Alcantarilla	I-D	0.165	0.002	15	0.42	65.72	0.012647
							74.45	0.014327
							84.35	0.016233
K03+451.4	Alcantarilla	I-D	1.525	0.015	15	0.42	65.72	0.117011
							74.45	0.132554
							84.35	0.150181
K03+568.8	Alcantarilla	I-D	0.231	0.002	15	0.42	65.72	0.01773
							74.45	0.020085
							84.35	0.022756
K03+642.6	Alcantarilla	I-D	0.333	0.003	15	0.42	65.72	0.02555
							74.45	0.028944
							84.35	0.032792
K03+689.5	Alcantarilla	I-D	1.601	0.016	15	0.42	65.72	0.122819
							74.45	0.139134
							84.35	0.157636
K03+721.6	Alcantarilla	I-D	0.411	0.004	15	0.42	65.72	0.0315
							65.72	0.122819
							65.72	0.122819
K03+864.6	Alcantarilla	I-D	0.607	0.006	15	0.42	65.72	0.046584

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
							65.72	0.046584
							65.72	0.046584
K03+958.3	Alcantarilla	I-D	0.259	0.003	15	0.42	65.72	0.019903
							74.45	0.022547
							84.35	0.025545
K03+979.5	Alcantarilla	I-D	0.259	0.003	15	0.42	65.72	0.019903
							74.45	0.022547
							84.35	0.025545
K04+005.8	Alcantarilla	I-D	0.498	0.005	15	0.42	65.72	0.038179
							74.45	0.043251
							84.35	0.049002
K04+073.1	Alcantarilla	I-D	0.365	0.004	15	0.42	65.72	0.027992
							74.45	0.03171
							84.35	0.035927
K04+142.8	Alcantarilla	I-D	1.170	0.012	15	0.42	65.72	0.08975
							74.45	0.101672
							84.35	0.115192
K04+337.7	Alcantarilla	I-D	0.609	0.006	15	0.42	65.72	0.046717
							74.45	0.052922
							84.35	0.05996
K04+362.6	Alcantarilla	I-D	0.812	0.008	15	0.42	65.72	0.062274
							74.45	0.070546
							84.35	0.079927
K04+459.0	Alcantarilla	I-D	0.748	0.007	15	0.42	65.72	0.057416
							74.45	0.065042
							84.35	0.073692

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
K04+630.9	Alcantarilla	I-D	0.521	0.005	15	0.42	65.72	0.039962
							74.45	0.04527
							84.35	0.05129
K04+737.5	Alcantarilla	I-D	1.827	0.018	15	0.42	65.72	0.140199
							74.45	0.158823
							84.35	0.179942
K04+851.3	Alcantarilla	I-D	0.879	0.009	15	0.42	65.72	0.067451
							74.45	0.076411
							84.35	0.086572
K04+945.7	Alcantarilla	I-D	0.066	0.001	15	0.42	65.72	0.005058
							74.45	0.00573
							84.35	0.006492
K04+999.2	Alcantarilla	I-D	1.137	0.011	15	0.42	65.72	0.087211
							74.45	0.098795
							84.35	0.111933
K05+069.0	Alcantarilla	I-D	0.972	0.010	15	0.42	65.72	0.074574
							74.45	0.08448
							84.35	0.095714
K05+253.7	Alcantarilla	I-D	1.362	0.014	15	0.42	65.72	0.104497
							74.45	0.118379
							84.35	0.13412
K05+301.0	Alcantarilla	I-D	0.397	0.004	15	0.42	65.72	0.030472
							74.45	0.03452
							84.35	0.039111
K05+400.0	Alcantarilla	I-D	0.316	0.003	15	0.42	65.72	0.024245
							74.45	0.027466

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
							84.35	0.031118
K05+479.1	Alcantarilla	I-D	0.455	0.005	15	0.42	65.72	0.034879
							74.45	0.039512
							84.35	0.044766
K05+534.1	Alcantarilla	I-D	1.334	0.013	15	0.42	65.72	0.102383
							74.45	0.115983
							84.35	0.131406
K05+570.5	Alcantarilla	I-D	0.511	0.005	15	0.42	65.72	0.039222
							74.45	0.044432
							84.35	0.05034
K05+715.8	Alcantarilla	I-D	4.309	0.043	15	0.42	65.72	0.330647
							74.45	0.374569
							84.35	0.424377
K05+842.6	Alcantarilla	I-D	1.123	0.011	15	0.42	65.72	0.086138
							74.45	0.097581
							84.35	0.110556
K05+954.5	Alcantarilla	I-D	1.848	0.018	15	0.42	65.72	0.141789
							74.45	0.160623
							84.35	0.181982
K06+061.6	Alcantarilla	I-D	1.223	0.012	15	0.42	65.72	0.093853
							74.45	0.106321
							84.35	0.120459
K06+323.0	Alcantarilla	D-I	0.157	0.002	15	0.42	65.72	0.012063
							74.45	0.013665
							84.35	0.015482
K06+488.8	Alcantarilla	D-I	0.106	0.001	15	0.42	65.72	0.008103

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
K06+689.2	Alcantarilla	D-I	4.412	0.044	15	0.42	74.45	0.00918
							84.35	0.0104
							65.72	0.338528
K06+960.0	Alcantarilla	D-I	2.347	0.023	15	0.42	74.45	0.383497
							84.35	0.434493
							65.72	0.180102
K07+225.5	Alcantarilla	D-I	12.329	0.123	15	0.42	74.45	0.204026
							84.35	0.231157
							65.72	0.946076
K07+522.8	Alcantarilla	D-I	22.250	0.223	15	0.42	74.45	1.071749
							84.35	1.214265
							65.72	1.707369
K07+726.2	Box	D-I	29.230	0.292	15	0.42	74.45	1.93417
							84.35	2.191366
							87.8	2.540941
K07+844.1	Alcantarilla	D-I	0.763	0.008	15	0.42	74.45	2.878823
							84.35	2.99657
							65.72	0.058548
K07+993.9	Alcantarilla	D-I	9.285	0.093	15	0.42	74.45	0.066325
							84.35	0.075144
							65.72	0.712493
K08+144.6	Alcantarilla	D-I	5.051	0.051	15	0.42	74.45	0.807137
							84.35	0.914467
							65.72	0.387596
K08+144.6	Alcantarilla	D-I	5.051	0.051	15	0.42	74.45	0.439083
							84.35	0.49747
							65.72	0.387596

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
K08+298.1	Alcantarilla	D-I	1.181	0.012	15	0.42	65.72	0.090642
							74.45	0.102683
							84.35	0.116337
K08+338.7	Alcantarilla	D-I	0.157	0.002	15	0.42	65.72	0.012063
							74.45	0.013665
							84.35	0.015482
K08+460.6	Alcantarilla	D-I	1.326	0.013	15	0.42	65.72	0.101751
							74.45	0.115267
							84.35	0.130595
K08+585.4	Alcantarilla	D-I	0.791	0.008	15	0.42	65.72	0.060693
							74.45	0.068755
							84.35	0.077898
K08+715.6	Alcantarilla	D-I	4.628	0.046	15	0.42	65.72	0.355102
							74.45	0.402273
							84.35	0.455765
K08+920.0	Alcantarilla	D-I	2.112	0.021	15	0.42	65.72	0.162048
							74.45	0.183574
							84.35	0.207985
K09+242.5	Alcantarilla	D-I	4.607	0.046	15	0.42	65.72	0.353497
							74.45	0.400455
							84.35	0.453705
K09+600.0	Alcantarilla	D-I	1.462	0.015	15	0.42	65.72	0.112168
							74.45	0.127068
							84.35	0.143965
K09+760.0	Alcantarilla	D-I	2.269	0.023	15	0.42	65.72	0.174129
							74.45	0.19726

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
K10+041.3	Alcantarilla	D-I	1.154	0.012	15	0.42	84.35	0.22349
							65.72	0.088552
							74.45	0.100315
K10+127.8	Alcantarilla	D-I	0.403	0.004	15	0.42	84.35	0.113655
							65.72	0.030918
							74.45	0.035025
K10+268.0	Alcantarilla	D-I	0.375	0.004	15	0.42	84.35	0.039683
							65.72	0.028791
							74.45	0.032615
							84.35	0.036952

Tabla 26 Caudales de diseño tramo 2

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección drenaje	Areas aferentes		Tc (min)	C	I (mm/h)	Q
			ha	km2				m3/s
K00+046.9	Alcantarilla	D-I	1.013	0.010	15	0.5	65.72	0.092552
							74.45	0.104847
							84.35	0.118789
K00+334.3	Alcantarilla	D-I	2.488	0.025	15	0.5	65.72	0.227306
							74.45	0.257501
							84.35	0.291742
K00+500.0	Alcantarilla	D-I	2.236	0.022	15	0.5	65.72	0.204287
							74.45	0.231423
							84.35	0.262197

6. ESTUDIO HIDRAÚLICO

En este capítulo del presente estudio se determinarán las características de cada uno de los drenajes de las obras existentes y los drenajes localizados dentro del área de estudio, en los cuales se propone reemplazar las obras existentes que presentan problemas tanto estructurales como de funcionamiento hidráulico mediante la implementación de obras nuevas de mayor capacidad, en algunas de ellas se recomienda el aumento del diámetro de los ductos de 24" por ductos de 36", en otros puntos se recomienda la implementación de estructuras tipo cajón para aumentar la capacidad de la obra. Adicionalmente, se plantea la implementación de cunetas proyectadas desde el punto de vista hidráulico de acuerdo con la necesidad en cada tramo y el diseño de filtros para el drenaje sub superficial.

Para desarrollar el temario de este ítem se tuvo en cuenta las recomendaciones establecidas en los documentos que se encuentran en el portal Web del INVIAS como son: Manual de Drenaje para Carreteras – INVIAS 2009, en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa - Huella y en la Cartilla de Obras Menores para la Red Terciaria.

6.1. INVENTARIO DE OBRAS EXISTENTES

Dentro de los tramos de intervención se encontraron 46 obras de drenaje entre las que se tienen 43 obras tipo alcantarilla circular de 24" la mayoría de ellas superficiales y con algún grado de obstrucción y 3 obras tipo alcantarillas de 36" en condiciones regulares de funcionamiento debido al poco mantenimiento o nulo que se hace.

Tabla 27 Estructuras de drenaje existentes tramo 1

Abscisa Topográfica	Tipo de obra	Dirección de drenaje	Longitud (m)	Diámetro (m)	Encole		Descole	
					Poceta	Aletas	Muro	Aletas
K2+757.70	ALCANTARILLA	I-D	11.40	0.60	X		X	
K2+905.00	ALCANTARILLA	I-D	9.10	0.60	X		X	
K3+151.60	ALCANTARILLA	I-D	6.38	0.60	X			X
K3+328.60	ALCANTARILLA	I-D	7.70	0.60	X			X
K3+568.80	ALCANTARILLA	I-D	7.20	0.60			X	
K3+689.50	ALCANTARILLA	I-D	5.28	0.60	X			X
K3+721.60	ALCANTARILLA	I-D	5.50	0.60			X	
K3+958.30	ALCANTARILLA	I-D	10.40	0.60	X			
K3+979.50	ALCANTARILLA	D-I	9.58	0.60		X	X	
K4+073.10	ALCANTARILLA	D-I	7.56	0.60	X		X	
K4+142.80	ALCANTARILLA	D-I	7.08	0.60	X			X

Iniciativa presentada por:
 AGROCOLSA S.A. SOCIEDAD CIVIL, NIT 805.021.816-3
 AGRÍCOLA COLOMBIANA S.A., NIT 890.315.430-6
 PRODUCTORA NACIONAL AVÍCOLA S.A., NIT 890.321.213-9
 ALIANZA FIDUCIARIA, NIT 860.531.315-3

MEJORAMIENTO DE LA VÍA YOTOCO - BUENOS AIRES - EL
 DORADO, EN EL SECTOR CRUCERO BUENOS AIRES - CASCO
 URBANO DE YOTOCO, Y DE UN TRAMO DE LA VÍA MUÑECOS -
 CORDOBITAS, EN YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Abscisa Topográfica	Tipo de obra	Dirección de drenaje	Longitud (m)	Diámetro (m)	Encole		Descole	
					Poceta	Aletas	Muro	Aletas
K4+337.70	ALCANTARILLA	D-I	6.36	0.60	X			X
K4+459.00	ALCANTARILLA	D-I	8.25	0.60	X			x
K4+630.90	ALCANTARILLA	D-I	6.15	0.60	X			X
K4+737.50	ALCANTARILLA	D-I	4.95	0.60	X			X
K4+851.30	ALCANTARILLA	D-I	5.1	0.60	X			X
K4+945.70	ALCANTARILLA	D-I	6.2	0.60	X			X
K4+999.20	ALCANTARILLA	D-I	6.95	0.60	X			X
K5+069.00	ALCANTARILLA	D-I	5.45	0.60	X			X
K5+253.70	ALCANTARILLA	D-I	4.50	0.60	X			X
K5+301.00	ALCANTARILLA	D-I	5.92	0.60	X			X
K5+400.00	ALCANTARILLA	D-I	6.57	0.60	X			X
K5+479.10	ALCANTARILLA	D-I	6.22	0.60	X			X
K5+534.10	ALCANTARILLA	D-I	8.47	0.60	X			X
K5+570.50	ALCANTARILLA	D-I	5.35	0.60	X			X
K5+715.80	ALCANTARILLA	D-I	4.20	0.60	X			X
K5+842.60	ALCANTARILLA	D-I	5.30	0.60	X			X
K5+954.50	ALCANTARILLA	D-I	5.95	0.60	X			X
K6+061.60	ALCANTARILLA	D-I	5.60	0.60	X			X
K6+323.00	ALCANTARILLA	D-I	9.5	0.60	X			X
K7+726.20	ALCANTARILLA	D-I	9.48	0.60	X			X
K7+844.10	ALCANTARILLA	D-I	13.28	0.60	X			X
K7+993.90	ALCANTARILLA	D-I	4.58	0.60	X			X
K8+144.60	ALCANTARILLA	D-I	5.73	0.60	X			X
K8+298.10	ALCANTARILLA	D-I	9.41	0.60	X			X
K8+338.70	ALCANTARILLA	D-I	6.16	0.60	X			X
K8+460.60	ALCANTARILLA	D-I	7.28	0.60	X			X

Abscisa Topográfica	Tipo de obra	Dirección de drenaje	Longitud (m)	Diámetro (m)	Encole		Descole	
					Poceta	Aletas	Muro	Aletas
K8+585.40	ALCANTARILLA	D-I	7.91	0.60	X			X
K8+715.60	ALCANTARILLA	D-I	9.09	0.60	X			X
K8+920.00	ALCANTARILLA	D-I	8.32	0.60	X			X
K9+242.50	ALCANTARILLA	D-I	6.22	0.60	X			X
K9+600.00	ALCANTARILLA	D-I	4.42	0.60	X			X
K9+760.00	ALCANTARILLA	D-I	5.44	0.60	X			X
K10+041.30	ALCANTARILLA	D-I	6.15	0.60	X			X
K10+127.80	ALCANTARILLA	D-I	5.5	0.60	X			X
K10+268.00	ALCANTARILLA	D-I	4.87	0.60	X			X

Tabla 28 Estructuras de drenaje existentes tramo 2

Abscisa Geométrica	Tipo de obra	Dirección de drenaje	Longitud (m)	Diametro (m)	Encole		Descole	
					Poceta	Aletas	Muro	Aletas
K0+046.90	ALCANTARILLA	D-I	8.90	0.90	X			X
K0+334.27	ALCANTARILLA	D-I	8.10	0.60	X			X
K0+500.00	ALCANTARILLA	D-I	7.60	0.60	X			X

6.2. METODOLOGÍA

El objetivo principal del drenaje en una vía es reducir al máximo posible la cantidad de agua que llega a la misma y darle salida rápidamente de tal manera que no destruya progresivamente la capa de rodadura de la vía y su cimentación. La metodología a utilizar será la descrita en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, Guía de Diseño de Pavimentos con Placa - huella y en las descrita en la literatura técnica especializada sobre temas hidráulicos. Los cálculos se harán soportados por software especializados con hojas de cálculo de Excel.

En términos generales se preténdete evaluar las obras hidráulicas existentes bajo los parámetros de precipitación y caudales máximos de diseño referenciados en el estudio hidrológico verificando la capacidad hidráulica de la sección a implementar.

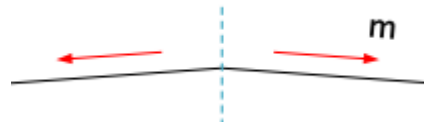
6.3. ESTRUCTURAS DE DRENAJE, CRITERIOS DE DISEÑO Y LOCALIZACIÓN

Las obras de drenaje están diseñadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual se ve afectada por el trazado de la vía. Entre estas estructuras de drenaje se tienen las que son para el drenaje superficial como por ejemplo: el bombeo y las cunetas; también se tienen estructuras de drenaje transversal entre las que se tiene: alcantarillas las cuales pueden ser circulares simples, dobles o múltiples; adicionalmente, se tienen las alcantarillas tipo cajón se sección cuadrada o rectangular de acuerdo con la necesidad; otras obras transversales son los box culvert, los pontones y puentes; estas estructuras se implementan de acuerdo con el tipo de drenaje que se tiene. A continuación, se describen algunos de los sistemas de drenaje que se tienen en una vía.

6.3.1. BOMBEO

Es una pendiente transversal en las entre tangencias horizontales de la vía, planteada en el diseño geométrico para direccionar las aguas de escorrentía provenientes de la precipitación. Está pendiente ayuda a eliminar o reducir el hidropneumático que se presenta como consecuencia de un inadecuado control de las aguas superficiales sobre la rasante de una vía.

Figura 1 Sección transversal de vía - bombeo



Donde:

m: porcentaje de bombeo ($2 < m < 4\%$ bombeo)

Criterio Invias: $m = V/H$

De acuerdo con la sección de la calzada a implementar se establece que el bombeo mínimo será del 2% desde el eje de la vía a cada uno de los carriles.

Figura 2 Sección transversal tipo tramo 1

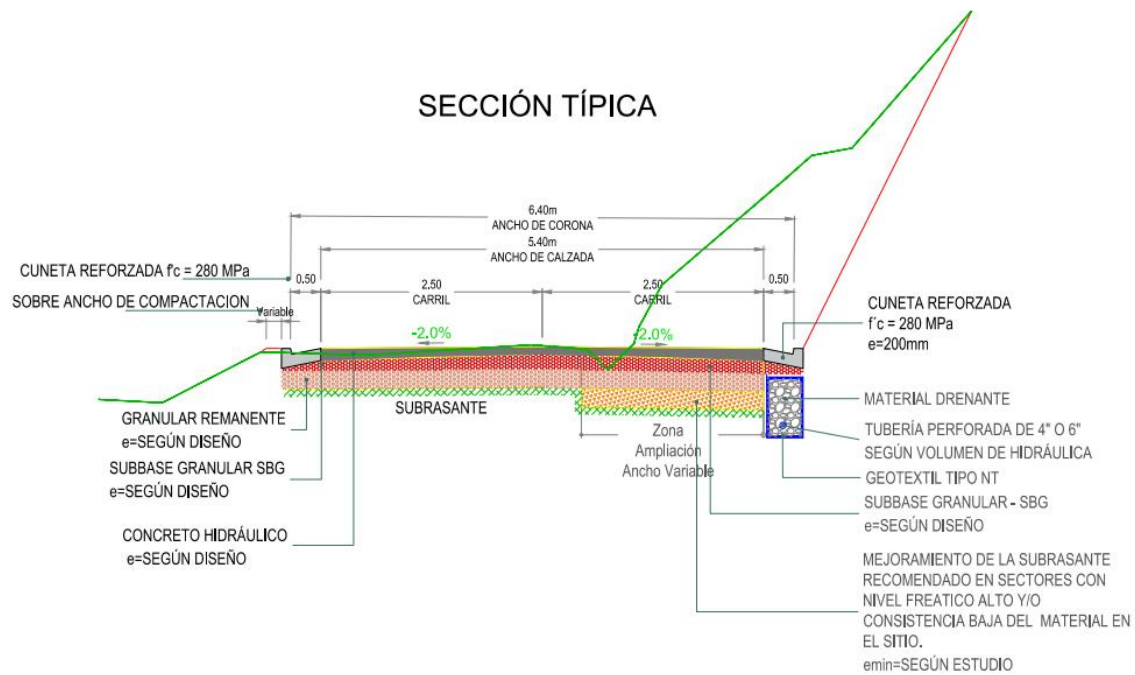
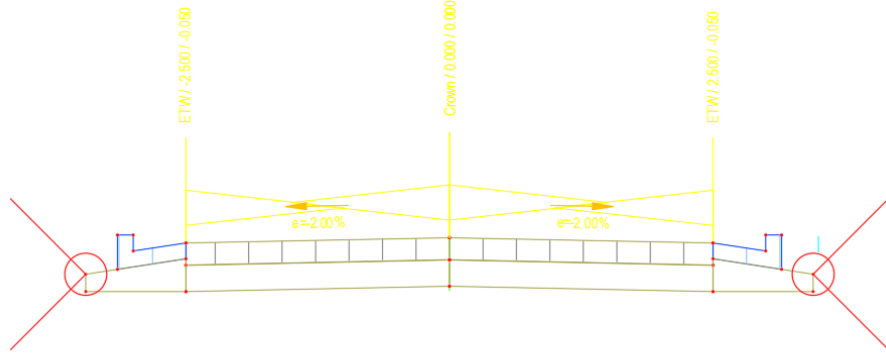


Figura 3 Sección transversal tipo tramo 2



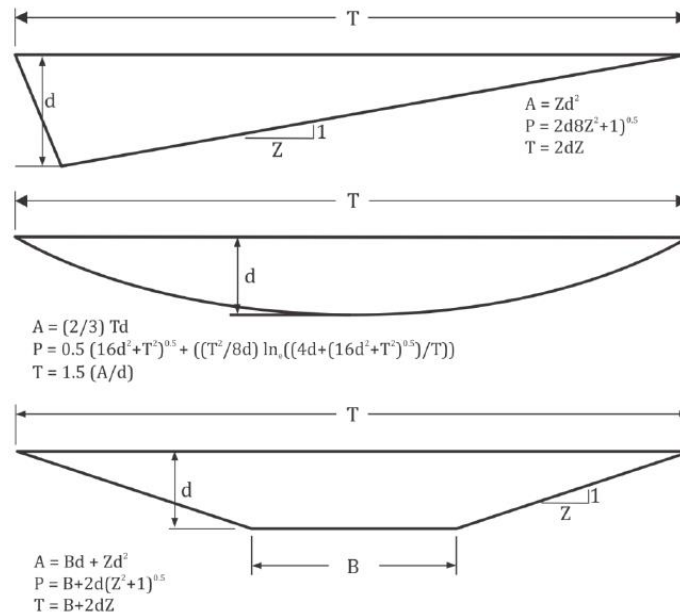
Sección Tipo Tramo 2

6.3.2. CUNETAS

Las cunetas son zanjas con o sin revestimiento construidas paralelamente a las bermas y están diseñadas para facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera; las cunetas reciben el agua de escorrentía de la calzada y la direccionan hacia otras estructuras de drenaje como son los aliviaderos, alcantarillas o estructuras superiores. Su geometría

puede variar según las condiciones de la vía y del área que drenan. En el Manual de Drenaje para Carreteras - Invias 2009, se recomiendan las secciones transversales típicas como son: parabólicas, triangulares y otras secciones; siendo las más usadas la sección triangular.

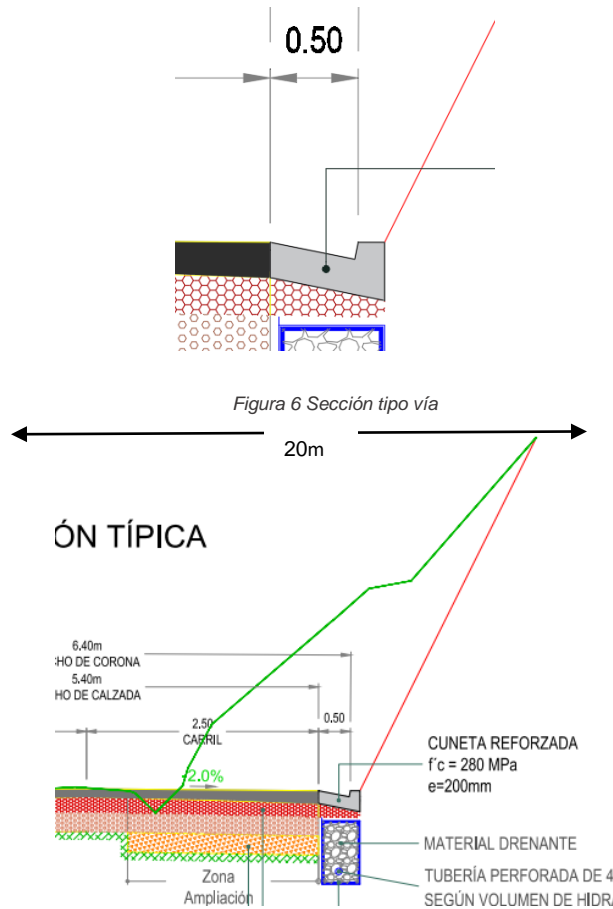
Figura 4 Secciones típicas de cunetas



Las cunetas construidas en zonas donde se tiene terraplén protegen el mismo de la erosión causada por el agua lluvia.

En cortes de la vía, el drenaje aferente será manejado por medio de drenajes superficiales tipo cunetas. Estas cunetas recogerán el agua de los taludes y la propia escorrentía superficial de la calzada direccionándolas hacia las cajas de inicio de alcantarillas o sus estructuras de salida dependiendo del caso. Teniendo en cuenta la topografía del terreno, el diseño geométrico establecido y las recomendaciones del Invias, se ha definido un tipo de sección de cuneta revestida en concreto a lo largo de tramo a intervenir, la cual se evaluará su capacidad de transportar adecuadamente los caudales máximos aferentes asociados al tiempo de retorno establecido. La forma y las dimensiones adoptadas para la berma cuneta se observan en la siguiente Figura 5 y el esquema en la Figura 6 se presenta la sección tipo. Sin embargo, para el presente diseño se tendrá en cuenta el chequeo de dos secciones más para ser tenidas en cuenta en el caso de las entradas a áreas de parqueo en viviendas y zonas de empalmes de vías.

Figura 5 Sección cuneta tipo 1



6.3.2.1. CHEQUEO HIDRAULICO DE CUNETAS

A continuación, se establecen los parámetros requeridos para el chequeo hidráulico de las cunetas a implementar en ambos tramos

Tabla 29 Chequeo hidráulico sección cuneta tipo tramo 1

PARAMETRO	VALOR
Profundidad máxima de lámina de agua	0.10
Ancho máximo de la lámina de agua	0.50
Área hidráulica A (m ²)	0.036
Perímetro mojado P (m)	0.566
Radio hidráulico R (m)	0.0636
Superficie de la cuneta	concreto
Coefficiente de Manning (n)	0.014
Pendiente mínima de la vía	0.50%
Pendiente máxima de la vía	12%
Intensidad de la lluvia I (mm/h)	65.72
Tiempo de concentración (min)	10
Periodo de retorno Tr (años)	5
Coefficiente de Escorrentía	0.64
Ancho de impluvium (m)	20

Lugar: YOTOCO Proyecto: PAVIMENTACION
 Tramo: TRAMO1 Revestimiento: CONCRETO

Datos:
 Tirante (y): 0.10 m
 Ancho de solera (b): 0 m
 Talud (Z): 2.5
 Coeficiente de rugosidad (n): 0.014
 Pendiente (S): 0.02 m/m

Resultados:
 Caudal (Q): 0.0326 m³/s Velocidad (v): 1.3048 m/s
 Área hidráulica (A): 0.0250 m² Perímetro (p): 0.5305 m
 Radio hidráulico (R): 0.0464 m Espejo de agua (T): 0.5000 m
 Número de Froude (F): 1.8631 Energía específica (E): 0.1868 m-Kg/Kg
 Tipo de flujo: Subcrítico

Calculadora Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal

Tabla 30 Chequeo hidráulico sección cuneta tipo tramo 2

PARAMETRO	VALOR
Profundidad máxima de lámina de agua (m)	0.10
Ancho máximo de la lámina de agua (m)	0.50
Área hidráulica A (m ²)	0.036
Perímetro mojado P (m)	0.566
Radio hidráulico R (m)	0.0636
Superficie de la cuneta	concreto
Coefficiente de Manning (n)	0.014
Pendiente mínima de la vía	0.50%
Pendiente máxima de la vía	12%
Intensidad de la lluvia I (mm/h)	65.72
Tiempo de concentración (min)	10
Periodo de retorno Tr (años)	5
Coefficiente de Escorrentía	0.68
Ancho de impluvium (m)	20

En el primer tramo se tiene una cuneta de ancho 0.50m y una altura de tirante máximo de 0.10m; por lo tanto, de acuerdo con el resultado del chequeo de la sección de la cuneta esta tiene una capacidad máxima de 0.0326m³/s con una pendiente longitudinal mínima del 2%. A continuación; se presentan los resultados de los chequeos tramo a tramo. El coeficiente de escorrentía es el promedio entre 0.42 que es el coeficiente de escorrentía de los taludes y 0.85 que es el coeficiente de escorrentía de la media calzada que es 0.85 por ser pavimento del primer tramo y el promedio entre 0.50 y 0.85 en el segundo tramo.

A continuación, se presenta el resultado del chequeo de las cunetas a implementar en los tramos de intervención.

Tabla 31 Chequeo hidráulico tramo a tramo de cunetas, tramo 1

TRAMO	LONGITUD (m)	ÁREA (Km ²)	Qe (m ³ /s)	S (%)	Qe (m ³ /s)	Cumple	
K2+570.0	K2+679.8	109.8	0.00	0.03	6.65	0.11	si
K2+679.8	K2+757.7	77.9	0.00	0.02	2.75	0.07	si
K2+757.7	K2+905.0	147.3	0.00	0.03	3.36	0.08	si
K2+905.0	K3+151.6	246.6	0.00	0.06	8.99	0.12	si
K3+151.6	K3+328.6	177.0	0.00	0.04	2.72	0.07	si
K3+328.6	K3+451.6	123.0	0.00	0.03	7.62	0.11	si
K3+451.6	K3+568.8	117.2	0.00	0.03	7.28	0.11	si
K3+568.8	K3+642.6	73.8	0.00	0.02	8.71	0.12	si
K3+642.6	K3+689.5	46.9	0.00	0.01	4.35	0.09	si
K3+689.5	K3+721.6	32.1	0.00	0.01	4.35	0.09	si
K3+721.6	K3+864.6	143.0	0.00	0.03	9.25	0.12	si
K3+864.6	K3+958.3	93.7	0.00	0.02	8.50	0.12	si
K3+958.3	K3+979.5	21.2	0.00	0.00	5.89	0.10	si
K3+979.5	K4+005.8	26.3	0.00	0.01	5.89	0.10	si
K4+005.8	K4+073.1	67.3	0.00	0.02	5.89	0.10	si
K4+073.1	K4+142.8	69.7	0.00	0.02	10.17	0.13	si
K4+142.8	K4+337.7	194.9	0.00	0.05	8.30	0.12	si
K4+337.7	K4+362.6	24.9	0.00	0.01	6.75	0.11	si
K4+362.6	K4+459.0	96.4	0.00	0.02	9.75	0.13	si
K4+459.0	K4+630.9	171.9	0.00	0.04	7.36	0.11	si
K4+630.9	K4+737.5	106.6	0.00	0.02	5.50	0.10	si
K4+737.5	K4+851.3	113.8	0.00	0.03	7.00	0.11	si
K4+851.3	K4+945.7	94.4	0.00	0.02	7.08	0.11	si
K4+945.7	K4+999.2	53.5	0.00	0.01	5.45	0.10	si
K4+999.2	K5+069.0	69.8	0.00	0.02	6.80	0.11	si
K5+069.0	K5+253.7	184.7	0.00	0.04	9.10	0.12	si
K5+253.7	K5+301.0	47.3	0.00	0.01	1.79	0.05	si
K5+301.0	K5+400.0	99.0	0.00	0.02	8.00	0.12	si

TRAMO		LONGITUD (m)	ÁREA (Km2)	Qe (m3/s)	S (%)	Qe (m3/s)	Cumple
K5+400.0	K5+479.1	79.1	0.00	0.02	7.75	0.11	si
K5+479.1	K5+534.1	55.0	0.00	0.01	6.36	0.10	si
K5+534.1	K5+570.5	36.4	0.00	0.01	6.33	0.10	si
K5+570.5	K5+715.8	145.3	0.00	0.03	7.25	0.11	si
K5+715.8	K5+842.6	126.8	0.00	0.03	6.86	0.11	si
K5+842.6	K5+945.5	102.9	0.00	0.02	11.43	0.14	si
K5+945.5	K6+061.6	116.1	0.00	0.03	7.33	0.11	si
K6+061.6	K6+323.0	261.4	0.01	0.06	5.63	0.10	si
K6+323.0	K6+488.9	165.9	0.00	0.04	3.56	0.08	si
K6+488.9	K6+689.2	200.3	0.00	0.05	4.34	0.09	si
K6+689.2	K6+960.0	270.8	0.01	0.06	3.50	0.08	si
K6+960.0	K7+225.5	265.5	0.01	0.06	4.38	0.09	si
K7+225.5	K7+445.0	219.5	0.00	0.05	4.92	0.09	si
K7+445.0	K7+522.8	77.8	0.00	0.02	5.92	0.10	si
K7+522.8	K7+726.2	203.4	0.00	0.05	7.75	0.11	si
K7+726.2	K7+844.1	117.9	0.00	0.03	5.30	0.09	si
K7+844.1	K7+993.9	149.8	0.00	0.04	4.58	0.09	si
K7+993.9	K8+144.6	150.7	0.00	0.04	2.14	0.06	si
K8+144.6	K8+298.1	153.5	0.00	0.04	4.12	0.08	si
K8+298.1	K8+338.7	40.6	0.00	0.01	7.13	0.11	si
K8+338.7	K8+460.6	121.9	0.00	0.03	7.73	0.11	si
K8+460.6	K8+585.4	124.8	0.00	0.03	8.63	0.12	si
K8+585.4	K8+715.6	130.2	0.00	0.03	5.29	0.09	si
K8+715.6	K8+920.0	204.4	0.00	0.05	1.40	0.05	si
K8+920.0	K9+242.5	322.5	0.01	0.08	3.80	0.08	si
K9+242.5	K9+600.0	357.5	0.01	0.08	4.56	0.09	si
K9+600.0	K9+760.0	160.0	0.00	0.04	3.20	0.07	si
K9+760.0	K10+041.3	281.3	0.01	0.07	3.57	0.08	si
K10+041.3	K10+127.8	86.5	0.00	0.02	4.75	0.09	si
K10+127.8	K10+268.0	140.2	0.00	0.03	4.00	0.08	si
K10+268.0	K10+298.0	32.0	0.00	0.01	4.00	0.08	si

Tabla 32 Chequeo hidráulico tramo a tramo de cunetas, tramo 2

TRAMO		LONGITUD (m)	ÁREA (Km2)	Qe (m3/s)	S (%)	Qe (m3/s)	Cumple
K0+000.0	K0+046.9	46.9	0.00070	0.008740	4	0.08	SI
K0+046.9	K0+334.3	287.4	0.00431	0.053553	3.22	0.07	SI
K0+334.3	K0+500.0	165.7	0.00249	0.030885	0.55	0.03	SI
K0+500.0	K0+700.0	200.0	0.00300	0.037271	4.55	0.09	SI
K0+700.0	K0+834.3	134.3	0.00201	0.025024	3.23	0.07	SI

De acuerdo con los resultados del chequeo hidráulico de los tramos de cunetas se tiene que las cunetas cumplen con el objetivo de evacuar el agua de escorrentía hasta el punto de localización de las obras; sin embargo, es importante que la etapa constructiva se lleve a cabo cumpliendo con las pendientes aquí establecidas; adicionalmente se recomienda hacer mantenimiento y limpieza periódica en los momentos en que se presentes deslizamientos o acumulación de sedimentos para evitar que el área hidráulica efectiva de la cuneta se disminuya.

En los accesos a predios o desviaciones hacia otras vías se recomienda el uso de otro tipo de cunetas más amplias. Esta cuneta tiene una sección transversal tipo triangular de 1m de

ancho y una altura hidráulica de 0.1m; se recomienda ser usada en tramos donde se tengan entradas a viviendas, negocios o donde se tengan cruces con otras vías; con el objetivo de evitar el golpe de los vehículos y garantizar la seguridad de los usuarios.

Teniendo en cuenta que el tramo vial del presente diseño sirve de comunicación a varios corregimientos incluida la cabecera municipal entre otras, se requiere el diseño de cunetas que además de drenar el agua de escorrentía permita el acceso a los predios donde se tengan vehículos. Por tanto, se tiene el diseño de esta cuneta de área más amplia como se presenta a continuación:

Tabla 33 Parámetros y características hidráulicas de la sección de cuneta tipo 2

PARAMETRO	VALOR
Profundidad máxima de lámina de agua (m)	0.1
Ancho máximo de la lámina de agua (m)	1.2
Área hidráulica A (m ²)	0.060
Perímetro mojado P (m)	2.42
Radio hidráulico R (m)	0.025
Superficie de la cuneta	concreto
Coefficiente de Manning (n)	0.014
Pendiente mínima de la vía	0.50%
Pendiente máxima de la vía	14%
Intensidad de la lluvia I (mm/h)	210.33
Tiempo de concentración (min)	10
Periodo de retorno Tr (años)	5
Coefficiente de Escorrentía	0.12
Ancho de Impluvium (m)	25

Utilizando la ecuación de Manning se procede a determinar la capacidad hidráulica de la sección de la cuneta; así:

Datos:

Área de la cuneta: 0.060m²

Perímetro mojado: 2.42m

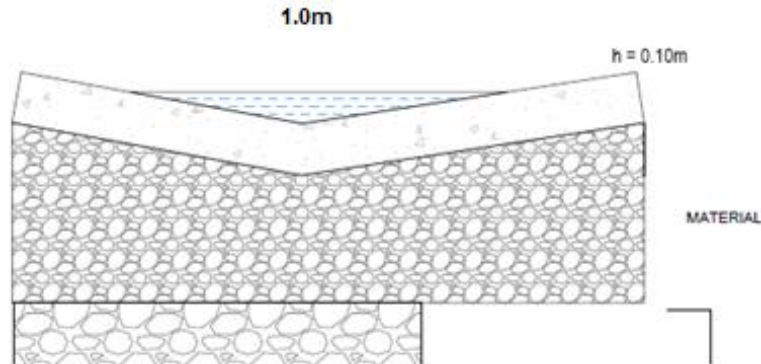
Pendiente mínima de la vía: 2%, se toma la pendiente crítica

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{1}{0.014} * 0.060 \cdot (0.025)^{\frac{2}{3}} \cdot (0.02)^{\frac{1}{2}} = 0.052 \text{ m}^3/\text{s}$$

La capacidad hidráulica de la cuneta tipo 2 es de 0.52m³/s.

Figura 7 Sección típica de cuneta en el tramo



6.3.3. ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un margen a otro. Incluye conductos que pueden tener varias secciones geométricas, en especial conductos circulares y alcantarillas de cajón de sección cuadrada o rectangular.

En su forma más elemental se tiene un ducto de dimensión mínima de 36" (0.90m), corresponde el elemento de drenaje transversal tipo poceta – aleta encargado de recolectar y evacuar a través de la estructura de vía la escorrentía de origen superficial y sub superficial aportante por las cunetas y/o filtros o en su configuración aleta – aleta que permite además recibir y evacuar los aportes anteriores a dar continuidad de cauces con flujos tipo intermitentes o efímeros, limitando su capacidad hidráulica hasta valores de caudales del orden $1.2\text{m}^3/\text{s}$ bajo condiciones de pendiente del 2% la cual es usual en este tipo de estructuración. La vista en planta presenta un ángulo de 45 grados para las aletas, este debe ser determinado para cada sitio puntual de acuerdo al estudio geotécnico, así como la altura final de las aletas.

El diseño de las alcantarillas consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada (H_w) atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos y de facilidad de mantenimiento (Invias,2009).

Estructuras de entrada y estructuras de salida: De acuerdo con la topografía obtenida, con el fin de retener el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de la alcantarilla, además de dar estabilidad al extremo de la tubería al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de sub presión, se diseñan estructuras como aletas, cabezotes y soleras. Las alcantarillas diseñadas, tienen los elementos típicos de este tipo y así mismo se tienen también a la salida de cada alcantarilla cabezales de descarga con el propósito de no alterar drásticamente los patrones de flujo del canal receptor y/o no generar problemas de socavación.

En consecuencia, el diseño de alcantarillas se desarrolla teniendo en cuenta las consideraciones establecidas anteriormente; las cuales son: diámetro mínimo establecido 0.90m (36") el cual corresponde al diámetro mínimo permitido por el Instituto Nacional de Vías – Invias para este tipo de obras, con el fin de dar un adecuado mantenimiento y limpieza a estas estructuras.

Además de las velocidades máximas y mínimas, el criterio de velocidad máxima del agua para el caudal máximo instantáneo con el periodo de retorno seleccionado en alcantarillas circulares y box coulvert se determinan con base en valores de velocidades máximas no erosivas usualmente tomados para el concreto, teniendo en cuenta que con tales velocidades se remuevan los sedimentos presentes en las estructuras. Las velocidades mínimas pueden ocurrir para caudales máximos instantáneos con periodos de retorno menores al de diseño, pero siempre existirá una remoción de sedimentos depositados en las estructuras una vez se produce un aguacero de importancia.

Para el chequeo del diseño de alcantarillas se tomó como criterio lo recomendado en el Manual de Drenaje para Carreteras, en cuanto a velocidades máximas permisibles de acuerdo con los materiales de construcción, es así como en la Tabla 34 se presentan dichos valores permisibles de velocidad:

Tabla 34 Velocidades Máximas permisibles de acuerdo con material de construcción

Material	Velocidad Máxima (m/s)
Ladrillo Común	3
Ladrillo Vitrificado	5
Arcilla Vitrificada (gres)	4
Concreto 175 Kg/cm ²	6
Concreto 210 Kg/cm ²	10
Concreto 280 Kg/cm ²	15
Concreto 350 Kg/cm ²	20

De acuerdo con el Manual de Drenaje Vial del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, se especifica un diámetro mínimo de alcantarilla igual a 0.90m con el fin de dar un adecuado mantenimiento y limpieza a estas estructuras. Sin embargo, para economía de la obra se deberán seguir las siguientes premisas para definir si las obras con diámetros inferiores a 0.90m deberán ser reemplazadas:

- **Premisas:**
 - ✓ Las obras con diámetros inferiores a 0.90m se reemplazarán el diámetro establecido por el INVIAS, cuando su estado estructural sea deficiente y comprometa la adecuada hidráulica del flujo.
 - ✓ Las obras con diámetros inferiores a 0.90m se reemplazarán al diámetro establecido por el INVIAS, cuando sean insuficientes hidráulicamente según este estudio

-
- ✓ Las obras con diámetros inferiores a 0.90m se mantendrán con el mismo diámetro cuando se encuentren en buen estado y sean suficientes hidráulicamente.
 - ✓ Cuando se requiera realizar prolongaciones de las obras existentes en el encole y/o descole por ensanchamiento de la banca y las obras posean diámetro inferior a 0.90m. Se mantendrá el mismo diámetro solo si la alcantarilla cumple con lo requerido en el numeral 3.

Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el ducto o tubería de cruce propiamente dicho y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla respectiva.

Se proyectan en los cruces de corrientes, para descargar pocetas o cajas colectoras de cunetas, filtros o zanjas de coronación, en los puntos más bajos cuando el drenaje confluye hacia la vía y en los terraplenes proyectados en planicies inundables para permitir el paso del agua, evitando que el terraplén actúe como un dique.

Con respecto al eje de la vía, las alcantarillas pueden ser preferiblemente perpendiculares a este, aunque se puede presentar que tenga un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se conserva la dirección del drenaje natural o corriente. En los casos en que se requiera mantener el patrón de drenaje natural o resulte muy larga la estructura será necesario proyectar la alcantarilla normal al eje de la vía o con un menor sesgo y construir las obras adicionales necesarias, tales como canales que aseguren la entrega y la conductividad de la corriente intersectada por la vía.

En su alineamiento vertical, las alcantarillas deben conservar una pendiente de la corriente o del terreno natural, pero si esta es muy fuerte, se podrá disminuir siguiendo los criterios que se señalan a continuación⁶.

Tabla 35 Chequeos hidráulicos

⁶ Manual de Drenaje Vial INVIAS 2009; Capítulo 4, Título 4.4, numeral 4.4.1

RANGO	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
$\frac{Hwi}{D} < \frac{1}{2}$	$Hwi = d_c + (1 + K_e) \frac{V_c^2}{2g}$ [4.22]	Ecuación de mínima energía de canales abiertos
	Si $Q < 0.15 * P_{0.5}$ $Hwi = d_c + (1 + C_{vh}) \frac{V_{corr}^2}{2g}$ [4.23]	Ecuación de mínima energía asumiendo un canal muy ancho
$\frac{1}{2} \leq \frac{Hwi}{D} \leq 3.0$	$\frac{Hwi}{D} = a + (bzF) + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f(zF)^5 - 0.5S$ [4.24]	Ecuación de regresión
$\frac{Hwi}{D} > 3.0$	$Hwi = \left(\frac{Q}{k}\right)^2 + 0.5 D$ [4.25]	Ecuación de orificio

¹⁴ Hw es la carga a la entrada y D el diámetro o altura de la estructura. Las condiciones de sumergencia se presentan para valores de Hw/D mayores al rango 1.20 – 1.50, el cual ha sido establecido de forma experimental

6.3.3.1. CHEQUEO HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS Y BOX

Dadas las características del tramo de estudio es necesario evaluar la capacidad hidráulica de las obras a implementar teniendo en cuenta ciertas particularidades; como son:

- Luz efectiva
- Altura efectiva
- Longitud
- Pendiente
- Coeficiente de rugosidad Manning
- Periodo de retorno o Análisis
- Caudal máximo de diseño a evacuar

Para llevar a cabo la evaluación de cada una de las obras se realiza la modelación con el programa HY-8. (Ver. Anexo 4. Modelación hidráulica); de acuerdo con los resultados las secciones hidráulicas de cada una de las obras a reemplazar y a implementar.

6.3.4. FILTROS

El sub drenaje de vías incorpora dos fuentes de agua que podrían generar algún problema en la estructura de pavimento al no controlarse de manera adecuada. La primera fuente de agua corresponde a la infiltración generada por eventos de lluvia y la segunda hace referencia al flujo ocasionado por el gradiente de un nivel freático superior al nivel de los filtros.

Drenaje por infiltración: la estimación del caudal infiltrado por el drenaje de la vía se realiza a través de la metodología de “Relación de Infiltración” incorporada en el Manual de Drenaje de Carreteras en el numeral 5.3.3.1.1.1. “El método asume que una porción fija de la lluvia que cae sobre el pavimento ingresa en él. De esta manera, los datos requeridos son, solamente, el aguacero de diseño y la relación de infiltración, a partir de los cuales se determina la tasa de infiltración” establece el manual.

La expresión que estima la cantidad de agua por infiltración es:

$$q_i = C \times R \times \frac{1}{1000} (m/mm) \times 24 (h/día) \times 1 (1m/1m)$$

Ecuación 20. Tasa de infiltración

Donde:

q_i : Tasa de infiltración en el pavimento, en metros cúbicos por día por metro cuadrado ($m^3/día/m^2$)

C: Relación de infiltración. De acuerdo con el manual se tienen los siguientes valores recomendados de acuerdo con el pavimento; así: (0.33 a 0.50) para pavimentos asfálticos y (0.50 a 0.67) para pavimentos rígidos. Por tanto, para el proyecto se asume un valor de 0.50.

R: Rata de la lluvia, en (mm/h) o también llamada intensidad de precipitación que ha sido estimada a través de las curvas IDF determinadas para el tramo del proyecto. El manual sugiere utilizar una lluvia de diseño con una frecuencia de 2 años (2.33 para el proyecto) y una hora de duración. Se han aceptado dichos valores convenientes. Para los dos tramos se tiene una intensidad de diseño de 22.94mm/h.

$$q_i = 0.5 \times 22.94 (mm/h) \times \frac{1}{1000} (m/mm) \times 24 (h/día) \times 1 (1m/1m) = 0.28 m^3 / (día * m^2)$$

Una vez determinada la tasa de infiltración, se multiplica en cada caso por el área aferente al filtro. Para el caso de filtros longitudinales de las calzadas derecho, izquierda o en el sector donde se tenga ampliación de banca con corte de talud; el área aferente será igual al ancho de cada calzada B (2.5m) multiplicado por la longitud L del filtro en cada caso; sin embargo, teniendo en cuenta la zona poblada y las zonas de parqueo se asume un ancho de 3m.

De esta manera, el caudal resultante de cada filtro será

$$Q_{inf} = \frac{q_i}{24 * 60 * 60} \times B \times L \text{ en } m^3/s$$

$$Q_{inf} = \frac{0.28}{24 * 60 * 60} \times B \times L \text{ en } m^3/s$$

Tabla 36. Caudal drenaje por infiltración tramo 1

TRAMO		MARGEN		LONG. (m)	ANCHO (m)	Q inf (m ³ /s)
		IZQ	DER			
K6+323.0	K6+488.9		X	165.87	3	0.0016
K6+488.9	K6+689.2		X	200.33	3	0.0019
K6+689.2	K6+960.0		X	270.80	3	0.0026
K6+960.0	K7+225.5		X	265.50	3	0.0026
K7+225.5	K7+445.0		X	219.50	3	0.0021
K7+445.0	K7+522.8		X	77.80	3	0.0008
K7+522.8	K7+726.2		X	203.40	3	0.0020
K7+726.2	K7+844.1		X	117.90	3	0.0011
K7+844.1	K7+993.9		X	149.80	3	0.0015
K7+993.9	K8+144.6		X	150.70	3	0.0015
K8+144.6	K8+298.1		X	153.50	3	0.0015
K8+298.1	K8+338.7		X	40.60	3	0.0004
K8+338.7	K8+460.6		X	121.90	3	0.0012
K8+460.6	K8+585.4		X	124.80	3	0.0012
K8+585.4	K8+715.6		X	130.20	3	0.0013
K8+715.6	K8+920.0		X	204.40	3	0.0020
K8+920.0	K9+242.5		X	322.50	3	0.0031
K9+242.5	K9+600.0		X	357.50	3	0.0035
K9+600.0	K9+760.0		X	160.00	3	0.0016
K9+760.0	K10+041.3		X	281.30	3	0.0027
K10+041.3	K10+127.8		X	86.50	3	0.0008
K10+127.8	K10+268.0		X	140.20	3	0.0014
K10+268.0	K10+298.0		X	32.00	3	0.0003

Tabla 37. Caudal drenaje por infiltración tramo 2

TRAMO		MARGEN		LONG. (m)	ANCHO (m)	Q inf (m ³ /s)
		IZQ	DER			
K0+000.0	K0+220.0		X	220.00	3	0.0021
K0+300.0	K0+834.3		X	534.3	3	0.0019

- Drenaje por nivel freático: el drenaje del nivel freático a partir de un valor conservador de cabeza hidráulica, incorpora el efecto de una saturación en el corte por infiltración de lluvia. A partir de consideraciones geotécnicas, se tiene que en el análisis realizado no se encontró nivel freático.

Con el fin de evaluar el sistema de drenaje sub-superficial propuesto para la vía en estudio, se utiliza el software Geosoft de PAVCO, con el cual se determina si el diámetro de la tubería, el medio filtrante y el geotextil propuesto es adecuado para los caudales de infiltración y abatimiento del nivel freático. (Ver Anexo 4)

En el programa se consideran los siguientes aspectos para el diseño del filtro:

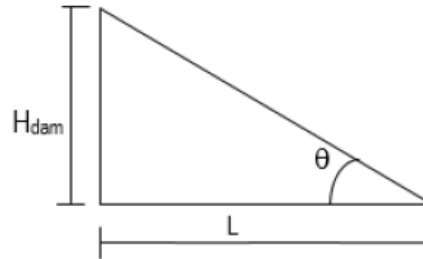
- Factores de reducción vial,
- Tipo de suelo en contacto con el geotextil
- Factores de reducción geotextil
- Criterio de retención
- Criterio de permeabilidad y Material drenante

De acuerdo con el chequeo del filtro se recomienda usar el filtro tipo de 1.0m de profundidad por 0.60m de ancho; con material drenante de acuerdo con la especificación y con tubería perforada de 4”.

6.3.5. DISIPADORES DE ENERGIA

Los disipadores de energía son estructuras de tipo escalonado en la salida de las alcantarillas antes mencionadas, sus proyecciones dependen básicamente del caudal de entrega y de la pendiente del canal de salida. A continuación, se describe brevemente la metodología utilizada en las obras para las cuales fue necesaria la proyección y los cálculos correspondientes.

Figura 8 Esquema básico para el diseño de disipadores



La profundidad crítica se calcula como:

Ecuación 21. Profundidad crítica

$$dc = \left(\frac{\left(\frac{Q}{B} \right)^2}{g} \right)^{1/3}$$

En donde:

- dc: profundidad crítica
- Q: caudal de diseño de la alcantarilla o box
- B: Ancho del Canal
- g: Gravedad

Para que exista flujo rasante se debe cumplir con la siguiente condición:

$$0.1 \leq \frac{s}{dc} \leq \left(\frac{s}{dc} \right) s$$

siendo $\left(\frac{s}{dc} \right) s = \frac{7}{6} (\tan \theta) \frac{1}{6}$

Para el ancho de la huella, este se obtiene dividiendo la caída del escalón sobre la tangente del Angulo de caída

$$huella = \frac{\text{altura de escalon}}{\text{tangente del ángulo de caída}}$$

El resumen de los resultados obtenidos de disipadores, se observa a continuación:

Tabla 38 Disipadores proyectados tramo 1

Abscisa	Ancho B (m)	Caida Total (Hadm)	Long. Total L	Pendiente del Terreno	Angulo de caída e	caida de cada escalon S	# Escalones inicial	# Escalones Total	Huella
K02+679.8	3.4	3.0	10.0	0.3	6°	0.6	5.0	5.0	2.0
K02+757.7	3.4	4.5	10.0	0.5	6°	0.6	7.5	8.0	1.3
K02+905.0	3.4	5.7	11.2	0.5	6°	0.6	9.5	9.0	1.2
K03+151.6	3.4	7.8	13.1	0.6	6°	1.0	7.8	8.0	1.7
K03+451.4	3.4	8.0	13.0	0.6	6°	1.0	8.0	8.0	1.6
K03+568.8	3.4	4.7	7.0	0.7	6°	0.6	7.8	8.0	0.9
K03+642.6	3.4	4.0	16.0	0.3	6°	0.6	6.7	7.0	2.4
K03+689.5	3.4	5.4	12.5	0.4	6°	0.6	9.0	9.0	1.4
K03+721.6	3.4	7.5	14.0	0.5	6°	1.0	7.5	8.0	1.9
K03+864.6	3.4	6.2	11.9	0.5	6°	1.0	6.2	6.0	1.9
K03+958.3	3.4	6.5	10.3	0.6	6°	1.0	6.5	7.0	1.6
K04+005.8	3.4	5.4	11.8	0.5	6°	0.6	9.0	9.0	1.3
K04+073.1	3.4	5.3	7.1	0.7	6°	0.6	8.8	9.0	0.8
K04+337.7	3.4	7.1	8.6	0.8	6°	1.0	7.1	7.0	1.2
K04+459.0	3.4	6.0	6.9	0.9	6°	0.6	10.0	10.0	0.7
K04+630.9	3.4	4.6	6.2	0.7	6°	0.6	7.7	8.0	0.8

Los disipadores ayudarán a encauzar el agua de escorrentía captada por las obras hidráulicas disminuyendo también su fuerza de arrastre y protegiendo el talud de ladera.

7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras en su capítulo 2, donde recomienda el uso de la información de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de influencia del proyecto o localizadas dentro de él. Estas estaciones analizadas en el presente informe son adecuadas para el estudio teniendo en cuenta su ubicación en especial la estación Bosques de Yotoco la cual es representativa de la zona debido a su ubicación topográfica, cumpliendo con lo establecido en la normatividad vigente; esta estación es operada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC entidad acreditada en la región y a nivel nacional para el manejo, suministro y operación de estas estaciones y de su información; además de ser reconocida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; por lo tanto, sus registros son válidos para efectos del presente estudio.

El aspecto más importante de los datos hidrológicos o registros de lluvias en este caso, es que sean continuos en el tiempo, que el periodo de registro sea amplio: en este caso mayor a 15 años y que se encuentren actualizados con el fin de dar mayor confianza al análisis estadístico. Es así como se logra caracterizar el régimen de lluvias de la estación de estudio en un régimen bimodal con dos distribuciones de lluvias máximas y una temporada de lluvias mínimas como se desarrolló en el capítulo correspondiente; adicionalmente se determinaron las características climatológicas, topográficas, entre otras, las cuales influyen en el comportamiento de los drenajes naturales existentes dentro de cada uno de los tramos de estudio.

Durante el proceso de recolección de información de campo se encontraron 46 alcantarillas de las cuales 4 obras son de 36" de diámetro y el resto de obras tienen 24" de diámetro, aunque en la mayoría de los casos las obras presentaban un funcionamiento hidráulico aceptable; estructuralmente no tenían guarda ruedas, sus muros en general presentaban porosidad, un alto grado de deterioro y acumulación de material en el fondo de las pocetas de entrada evidenciando la falta de mantenimiento. Dentro de los primeros 4 kilómetros del primer tramo se tienen actualmente procesos de erosión en la salida de las obras y algunas presentan volcamiento de la estructura. El segundo tramo cuenta con 3 obras hidráulicas, una alcantarilla de 36" en buen estado al inicio del tramo, otra alcantarilla de diámetro mayor a 36" la cual se encuentra en buen funcionamiento y por último una obra de 24" que sirve de paso del agua de una hacienda a otra; no tiene estructura de entrada ni salida, solo tiene el ducto.

Con la información de campo y la topografía suministrada, se definieron las áreas aferentes a cada uno de los drenajes encontrados en campo tanto en las obras existentes como en aquellos puntos donde se debían implementar nuevas obras de drenaje; estableciendo que todas las áreas son menores a 2.5km²; por lo tanto, el método de cálculo de caudales máximos de diseño aplicable es el método racional.

El primer tramo se proponen 57 obras de drenaje transversal entre las que se tienen 42 alcantarillas existentes las cuales tienen un diámetro de 24" y debe aumentarse a 36", un pequeño box en el K7+726.2 el cual debe aumentar su capacidad a un box de 2.5x2.5m debido la zona en la cual se encuentra; realizar la limpieza, mantenimiento y adecuación de 4 alcantarillas de 36" y finalmente se construirán 10 alcantarillas de 36" de acuerdo con lo establecido en los planos y en el presente estudio. En el segundo tramo se realiza el chequeo de la capacidad hidráulica de las obras existentes; actualmente se tienen dos obras en buen estado las cuales se recomienda mantener y hacer la limpieza y mantenimiento de las mismas; se encuentra una obra sin estructuras de entrada o salida la cual se recomienda ser reemplazada por una obra nueva, debido a que la zona donde se encuentra ubicada presenta hundimientos y empozamientos lo cual indica que aunque funciona hidráulicamente la tubería se ha desplazado generando filtración y deteriorando el afirmado existente; adicionalmente se implementará una obra nueva de 36" de diámetro en el último sector; para tener un total de 4 obras.

En el primer tramo se propone la implementación de disipadores de energía en especial en el tramo inicial desde el K2+570 hasta el K4+800 teniendo en cuenta la inclinación de las laderas en los descoles de las obras; evitando así la pérdida de banca por deslizamiento de la obra por arrastre del material de soporte de la estructura a la salida.

Los filtros a instalar son filtros convencionales compuestos de geotextil tipo NT2500 o similar, material granular seleccionado según las especificaciones técnicas y tubería perforada de 4"; el cual se instalará en los taludes de corte y en las zonas donde se evidencie mayor humedad de acuerdo con los tramos establecidos anteriormente.

Se recomienda realizar mantenimientos a las obras periódicamente para evitar acumulación de material, vegetación y basuras evitando que disminuya la sección hidráulica de la misma y por consiguiente la capacidad hidráulica de las estructuras planteadas

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chow, V.T; Hidrología Aplicada, primera edición en español, traducido de la edición en inglés, Applied Hidrology, Bogotá; Editorial Mc. Graw Hill, 1993.
- Diseño de obras Viales Vol I
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH
- Instituto Nacional de Vías INVIAS, Ministerio de Transporte. Manual de Drenaje para Carreteras. Bogotá 2009.

Carmen Elena Concha Gómez

Carmen Elena Concha Gómez

C.C. 25.5285.828 de Popayán

Ingeniera civil – Especialista en Ingeniería de Recursos Hídricos

M.P 19202209227CAU