



Aprovechamiento de las aguas de escorrentía de los drenajes superficiales y taludes adyacentes desde la

K3+390 a la K3+878 vereda Batavia municipio de Nilo Cundinamarca COLOMBIA

Presentado por:

Hugo Enrique Carlos Plata

ID: 000660912

Misael Herreño Martínez

ID: 000673096

Jeisson David Manzanares Cordero

ID: 000275018

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

mayo de 2022

APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA DE LOS DRENAJES SUPERFICIALES Y TALUDES
ADYACENTES DESDE LA K3+390 A LA K3+878 VEREDA BATAVIA MUNICIPIO DE NILO CUNDINAMARCA
COLOMBIA

Presentado por:

Hugo Enrique Carlos Plata

ID: 000660912

Misael Herreño Martínez

ID: 000673096

Jeisson David Manzanares Cordero

ID: 000275018

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor:

Leandro Alberto Velásquez Salguero

Ingeniero Civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

mayo de 2022

Dedicatoria

Este logro lo dedico a mi madre Ana Isabel Plata Torres, madre amorosa y mujer de carácter, noble y de gran corazón a la vez, gran ejemplo de perseverancia y bondad, gracias por darme la vida, su apoyo, todo su amor y buenos consejos, a mi amada esposa Leydi Bibiana Cárdenas Revelo, gran compañera de vida, gracias por caminar a mi lado, por ayudarme a crecer como persona y como profesional, por sostenerme en momentos de debilidad y sobre todo por su amor incondicional, a mi hija y gran amor de mi vida Victoria Carlos Cárdenas, hija mía eres lo mejor que tengo, mi fuente de inspiración, mi fuerza, llenas mi vida de alegría y del amor más puro que pueda existir. A estas tres bellas mujeres debo quien soy y quien llegue a ser, las amo.

También dedico esto a mis hermanos, Carolina Y Rafael, desde pequeño los he admirado y amado, han sido un ejemplo a seguir, cómplices y amigos de aventuras y vivencias, a veces duros, pero siempre justos y comprensivos. A mis amigos que nunca dejaron de alentarme a seguir adelante y de creer en mí, y a mis compañeros de academia Misael y Jeisson, han sido los mejores, aprendí mucho de ellos y me aportaron muchas cosas positivas.

A todos los que he nombrado muchas gracias.

Hugo Enrique Carlos Plata.

Gracias a mi esposa Andrea Paola Barrero Núñez por entenderme en todo, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, fue la felicidad encajada en una sola persona, fue mi todo reflejado en otra persona a la cual yo amo demasiado, y por la cual estoy dispuesto a enfrentar todo y en todo momento.

Este mismo furor y pasión con la que describo el perfecto e incondicional apoyo de mi pareja, fue el mismo con el que desarrollé cada parte y punto de este trabajo, y por esto mismo puedo afirmar y pronosticar su éxito y agrado para cada uno de sus lectores.

Mis sinceras gracias para mi esposa, nunca podré terminar de agradecerle por tantas ayudas.

Dedico este logro a mi madre Ana Blanca Martínez por haberme forjado como la persona que soy, su ejemplo, su amor, su bondad y grandes cualidades de madre me han convertido en un hombre de bien, todo lo que me ha entregado en mi vida me ha servido como herramienta para salir adelante y lograr lo que me he propuesto.

Misael Herreño Martínez

Este trabajo lo dedico a mi madre Isabel Cordero Gómez y a mi padre José Helman Manzanares Suárez, su esfuerzo y dedicación han servido como ejemplo para sortear cada obstáculo que he encontrado en el camino de la vida, hoy gracias a su apoyo doy un paso más, siempre de la mano de Dios y de ellos he logrado conseguir los objetivos propuestos, siendo cada día una versión mejorada de mi mismo, a ellos debo la vida y mis logros, puesto que han estado presentes en cada etapa de mi formación y crecimiento personal y profesional apoyándome y siempre creyendo en mí, alentándome a seguir adelante pese a las dificultades y a dar hasta la última gota de mi esfuerzo, a mis compañeros de academia Hugo y Misael y a todos los que recorrieron este camino a mi lado desde el primer día hasta hoy. A todos muchas gracias por estar presentes.

Jeisson David Manzanares Cordero.

Agradecimientos

Primeramente, agradecemos a Dios y a la vida por tener esta oportunidad, a nuestras familias por ser un apoyo incondicional y por creer cada día en nosotros, sus palabras de aliento en momentos difíciles nos ayudaron a superar todos los obstáculos, nuestro esfuerzo es por ellos y para ellos; a todos los docentes que nos formaron durante este proceso. En especial a los ingenieros: Edgar Orjuela Montoya y Leandro Alberto Velásquez Salguero, quienes con su dedicación y acompañamiento nos aportaron grandes y valiosos conocimientos en diversas áreas, a la corporación universitaria minuto de Dios y la facultad de ingeniería por ser una gran fuente de conocimiento, a todos muchas gracias, sus aportes fueron parte fundamental para llegar hasta este punto de nuestras vidas.

Contenido

Lista de tablas	8
Lista de figuras	9
Lista de anexos.....	11
Resumen	12
Abstract.....	13
1 Introducción.....	14
2 Planteamiento del problema	15
2.1 Descripción del problema	15
3 Justificación.....	16
4 Objetivos	17
4.1 Objetivo general.....	17
4.2 Objetivos específicos	17
5 Marco Referencial.....	18
5.1 Marco Histórico.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2 Marco Contextual	18
5.3 Marco Conceptual.....	18
5.4 Marco Teórico	21
5.4.1 Agua en el mundo	21
5.4.2 ¿En qué consiste el sistema de aprovechamiento?	¡Error! Marcador no definido.
5.4.3 Elementos que conforman el sistema de aprovechamiento	28
5.4.4 Ventajas y desventajas.....	28
5.4.5 Parámetros de diseño del sistema de aprovechamiento.	29
6 Trabajo técnico	31
6.1 Recolección de la información del punto de investigación	31
6.2 Ubicación general	31
6.3 Ubicación del área de investigación	33
6.4 Descripción de la zona de estudio	35
6.5 Punto de investigación.....	42
6.6 Levantamiento topográfico del punto de investigación.....	45

7 Referencias..... 55

Anexos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Lista de tablas

Tabla 1	24
---------------	----

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 <i>El agua en el mundo</i> (Agua.org.mx, 2017)	21
Ilustración 2 Matriz FODA	23
Ilustración 3 <i>Elementos geométricos importantes</i> (Ruiz, 2008)	30
Ilustración 4 <i>Ubicación del municipio de Nilo</i>	32
Ilustración 5 <i>División política del municipio de Nilo</i>	32
Ilustración 6 <i>Ubicación de la vereda Batavia</i>	33
Ilustración 7 <i>Ubicación del punto inicial y el punto final del trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia en Google Earth</i>	34
Ilustración 8 <i>Trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia</i>	34
Ilustración 9 <i>Perfil del trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia</i>	35
Ilustración 10 <i>Temperatura media anual promedio periodo 1981-2010 – tomada del geovisor del IDEAM</i>	36
Ilustración 11 <i>Precipitación media total anual periodo 1981-2010 – tomada del geovisor del IDEAM</i>	37
Ilustración 12 <i>Zona cafetera del Municipio de Nilo – tomada de la federación de cafeteros</i>	38
Ilustración 13 <i>Relieve montañoso de la zona</i>	38
Ilustración 14 <i>Recolectores de café al margen de la vía</i>	39
Ilustración 15 <i>Grano de café de la zona</i>	39
Ilustración 16 <i>Café sembrado al margen de la vía</i>	40
Ilustración 17 <i>Drenaje superficial y subdrenaje</i>	40
Ilustración 18 <i>Estructura vial en placa huella</i>	41
Ilustración 19 <i>Escorrentía superficial en día de lluvia</i>	41
Ilustración 20 <i>Estructura vial en placa Huella</i>	42

Ilustración 21 Nacimiento de agua proveniente del talud adyacente a la vía.....	43
Ilustración 22 Escorrentía que recoge la cuneta de la vía en día lluvioso.	43
Ilustración 23 Escorrentía que se vierte al encole de la alcantarilla proveniente de la cuneta y el sistema de subdrenaje existente.	44
Ilustración 24 Descole de la alcantarilla que recoge el agua proveniente de la cuneta y el sistema de subdrenaje existente	44
Ilustración 25 <i>Planta del</i> Levantamiento topográfico.....	45
Ilustración 26 <i>Perfil longitudinal del tramo</i>	45
Ilustración 27 <i>Perfil transversal</i>	46
Ilustración 28 <i>Registro fotográfico</i>	46

Lista de anexos

Anexo 1 Sección de canal modelada en AutoCAD	54
--	----

Resumen

Este trabajo de investigación busca analizar los datos que permitan la implementación de un sistema para el aprovechamiento de agua de corrientes superficiales, taludes adyacentes saturados y agua de lluvia en obras de estructura vial. Lo anterior, planteando la posibilidad de captar y utilizar estas aguas para uso doméstico, riego de cultivos, uso agrícola, entre otros.

Por lo anterior, la intención del siguiente documento es brindar la alternativa de utilizar la estructura vial como sistema de aprovechamiento de agua, que pueda abastecer a poblaciones, cultivos o fincas cercanas a estos proyectos, especialmente a aquellas que se encuentren aisladas y tienen un déficit en la adquisición de recursos hídricos.

Palabras clave: *Aguas lluvia; Aguas de Escorrentía; Aprovechamiento de Agua; Analizar; Proyectos Viales*

Abstract

This research seeks to analyze the work data that allow the implementation of a system for the use of water from surface currents, saturated adjacent slopes and rainwater in road structure works. The above, raising the possibility of capturing and using these waters for domestic use, irrigation of crops, agricultural use, among others.

Therefore, the intention of the following document is to provide the alternative of using the road structure as a water use system, which can supply populations, crops or farms close to these projects, especially those that are isolated and have a deficit in the acquisition of water resources.

Keywords: *Rainwater; runoff waters; use of water; analyze; road projects*

1 Introducción

A lo largo de la historia de la infraestructura vial, el agua de escorrentía, ya sea de lluvia o de fuentes hídricas, ha sido sinónimo de desafío para los constructores, debido a que su paso sobre los ejes viales provoca múltiples efectos como desgaste de la superficie de rodadura, erosión, hundimiento e inestabilidad del suelo. Por ello, siempre se ha tenido en cuenta la construcción de desagües superficiales y subdrenajes para poder evacuar de forma rápida y eficiente estas corrientes de agua; sin embargo, se ha prestado poca atención al valor de este recurso natural y la capacidad de las vías para captar este líquido vital. Si se analiza desde una perspectiva diferente, las obras viales pueden actuar como sistemas de captación, canalización, y transporte de volúmenes considerables de agua, donde mediante algunas modificaciones, sería posible optimizar el uso de aguas de escorrentía a lo largo de rutas regionales, nacionales e internacionales; mejorando así, las condiciones de vida en poblaciones tanto urbanas como rurales cercanas.

Este beneficio sería posible a través del diseño y construcción de un sistema de aprovechamientos que capte y conduzca el agua recolectada a reservorios que pueden ser pozos, lagunas, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua potable, entre otros, donde el impacto ambiental se pueda mitigar en gran medida, agregando un nuevo significado “calidad de vida”.

2 Planteamiento del problema

En Colombia, el diseño y desarrollo de proyectos viales está sujeto a diversos aspectos naturales de nuestro país, ya que vivimos en uno de los países que tiene una gran riqueza hídrica, donde existen altas frecuencias de lluvias, numerosos cursos de agua presentes en todo el territorio colombiano y los diferentes terrenos montañosos que hay que sortear para comunicar los pueblos y ciudades; Por tal motivo, es necesario realizar el adecuado diseño y construcción de obras de drenaje que protejan y garanticen en gran medida el funcionamiento de las vías frente a la acción del agua. Sin embargo, en la mayoría de los casos se observa que la disposición final del agua recolectada por estas obras de drenaje deben ser descargadas aguas abajo a zanjas, canales, escorrentías superficiales o hacia propiedades vecinas causando daños por erosión, remoción de masa, discontinuidad de la topografía del terreno, entre otros efectos que pueden convertirse en fuente de generación de riesgo, daño ambiental y descontento por parte de los propietarios que ven afectados y contribuyendo en gran medida al desaprovechando del recurso hídrico.

2.1 Descripción del problema

El problema central es el desaprovechamiento de la escorrentía de los drenajes superficiales y taludes adyacentes de la infraestructura vial. Donde no se tiene en cuenta que el recurso hídrico que es captado por las carreteras y por las diferentes obras de drenaje puede ser aprovechado de manera eficiente. Por tal motivo, se observa la necesidad de implementar un sistema que facilite la captación y almacenamiento de las aguas de escorrentía, donde pueda ser utilizada por la población aledaña a estos proyectos viales.

3 Justificación

En las diferentes estructuras viales, el agua puede representar un factor adverso que puede alterar el comportamiento de los elementos viales y del terreno, causando daños y problemas a los usuarios. Por tal motivo, al momento de construir una vía, se diseñan a su vez una serie de obras complementarias que sirven de protección frente a la presencia de agua, ya sea subterránea, pluvial o corrientes de agua que atraviesan el proyecto.

Sin embargo, se ha observado que, en la mayoría de los casos, la proyección para la disposición final de las aguas captadas por estas obras complementarias de drenaje y subdrenaje no es la más eficiente, encontrando casos donde se dejan correr aguas abajo, por lo que, debido a los efectos de la gravedad, continúan su camino y se alejan del proyecto, provocando modificaciones adversas en el terreno por donde pasan estas corrientes de agua.

Por tal motivo, el presente trabajo investigativo busca realizar un análisis técnico que brinde la alternativa de implementar un sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía de drenajes superficiales y taludes adyacentes de la infraestructura vial, enfocado especialmente en el tramo de vía comprendido desde el K3+390 al k3+878 en la vereda Batavia del municipio de Nilo departamento de Cundinamarca Colombia; brindando a las comunidades aledañas a proyectos viales, la posibilidad de contar con una fuente alternativa de abastecimiento de agua.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar los datos que permitan la implementación de un sistema para el aprovechamiento de las aguas de escorrentía de los drenajes superficiales y subdrenajes de taludes adyacentes ubicados en el tramo K3+390 al K3+878 de la vereda Batavia municipio de Nilo departamento de Cundinamarca Colombia.

4.2 Objetivos específicos

- Recolección y análisis de datos hidrometeorológicos de la zona de estudio.
- Trazado del perfil longitudinal del tramo de la vía de estudio
- Levantamiento topográfico del punto de estudio
- Recolección y análisis de datos de elevación del área de estudio.
- Evaluar el impacto ambiental que puede generar la implementación del sistema de aprovechamiento.
- Definir los componentes del sistema de aprovechamiento.
- Estimar los parámetros de diseño para el sistema de aprovechamiento.
- Realizar el cálculo y diseño geométrico del canal de abastecimiento mediante tabla dinámica de Excel.
- Diseñar el canal en herramienta HEC-RAS.

5 Marco Referencial

5.1 Marco Contextual

El presente diagnóstico tiene como referencia de aplicación el tramo de vía K3+390 al K3+878 en la vereda Batavia del municipio de Nilo departamento de Cundinamarca Colombia; donde se estudiará la factibilidad de aplicar un sistema aprovechamiento de esorrentías de taludes adyacentes y drenajes superficiales de la infraestructura vial, realizando un análisis de los datos para la implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento básico que pueda ser aplicado en la zona descrita

5.2 Marco Conceptual

- **Agua infiltrada.** Agua que ingresa a la corona a través de las bermas, juntas, grietas y otras discontinuidades del pavimento. Incluye, también, la que fluye lateralmente desde los bordes y cunetas y canales no revestidos, en particular cuando estos últimos son poco profundos y el terreno es muy plano. (INVIAS, 2009)
- **Berma.** Franja longitudinal contigua a la calzada que no está destinada al uso de vehículos más que en circunstancias excepcionales. (INVIAS, 2009)
- **Bombeo.** Pendiente transversal en los tramos rectos de la carretera, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua. (INVIAS, 2009)
- **Calzada.** Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos. (INVIAS, 2009)
- **Carretera.** Infraestructura de transporte suburbana o rural, cuya finalidad es permitir la circulación de automotores en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación y uno o varios carriles en cada

sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma. (INVIAS, 2009)

- **Cauce aluvial.** Cauce totalmente en aluvión, sin roca; su lecho suele ser de tipo granular. En caudales bajos queda a la vista y puede estar expuesto a procesos erosivos. (INVIAS, 2009)
- **Caudal.** Relación entre el volumen de agua y el tiempo producido por una corriente de agua. (INVIAS, 2009)
- **Caudal a cauce lleno.** Caudal que, en promedio, llena el cauce hasta el punto de desborde. (INVIAS, 2009)
- **Caudal base.** Caudal de escorrentía subterránea. (INVIAS, 2009)
- **Coefficiente de permeabilidad.** Caudal a través de una sección de área unitaria bajo un gradiente hidráulico unitario. Su símbolo es "k". (INVIAS, 2009)
- **Corona.** Es la superficie visible de una carretera, formada por su(s) calzada(s), bermas y sobre anchos, así como el separador central o mediana, en caso de que este último forme parte de la sección transversal típica. También se conoce como plataforma. (INVIAS, 2009)
- **Dren.** Excavación en forma de zanja, rellena con materiales permeables, cuya función es la captación de aguas freáticas o de infiltración. (INVIAS, 2009)
- **Dren horizontal.** Tubería de poco diámetro con pequeñas perforaciones o ranuras, que se instala con una ligera inclinación ascendente en un talud de corte o terraplén para drenar aguas internas y aliviar presiones de poros, lo que trae como consecuencia un incremento en su estabilidad. (INVIAS, 2009)
- **Dren longitudinal.** Dren que se coloca en una dirección esencialmente paralela al eje de la carretera tanto horizontal como verticalmente. (INVIAS, 2009)

- **Dren transversal.** Dren subsuperficial que atraviesan la carretera de un lado a otro, generalmente en sentido perpendicular. (INVIAS, 2009)
- **Drenaje.** Remoción natural o artificial del agua superficial y subsuperficial de un área determinada. (INVIAS, 2009)
- **Escorrentía.** Agua que escurre por los terrenos de la hoya hidrográfica superficialmente (escorrentía superficial) o subterráneamente (escorrentía subterránea). (INVIAS, 2009)
- **Escorrentía subterránea.** Proceso por el cual el agua se mueve dentro del suelo por debajo del nivel freático bajo la acción de un gradiente hidráulico. (INVIAS, 2009)
- **Escorrentía superficial.** Agua que escurre laminarmente sobre el suelo o sobre depresiones (canales o corrientes de agua). (INVIAS, 2009)
- **Filtración.** Movimiento o flujo de un fluido a través de un medio poroso permeable. Para los fines de este manual, el fluido es el agua y el medio poroso permeable está constituido por los suelos y rocas naturales y los elementos estructurales del pavimento. (INVIAS, 2009)
- **Infiltración.** Proceso por el cual el agua penetra dentro del suelo. Es un fenómeno que tiene que ver con las características superficiales del suelo, y la relación entre la capacidad de infiltración del suelo y la intensidad de precipitación. (INVIAS, 2009)
- **Nivel freático.** (a) Nivel de agua dentro del suelo que cumple con la ley hidrostática de presiones. En otras palabras, se considera un embalse en un medio poroso. (b) Profundidad dentro del suelo a la cual el agua intersticial se encuentra a la presión atmosférica. (INVIAS, 2009)
- **Obras de drenaje subterráneo.** Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo con el fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera.

Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos y haciendo descender el nivel freático. (INVIAS, 2009)

- **Precipitación.** Caída del agua desde la atmósfera al suelo en forma líquida y sólida. (INVIAS, 2009)

5.3 Marco Teórico

5.3.1 Agua en el mundo



Ilustración 1 El agua en el mundo (Agua.org.mx, 2017)

La superficie del planeta tierra se compone de un 70% de agua y solamente un 30% de tierra firme, no obstante, el 97.5% es agua salada, el 2.5% es agua dulce y de esta, un 70% se encuentra en glaciares, nieve o hielo, casi el 30% se encuentra en aguas subterráneas de difícil acceso y menos del 1% es agua disponible para el consumo humano y los ecosistemas. Este último se encuentra en ríos, lagos,

humedad del suelo y fuentes subterráneas relativamente poco profundas, los cuales se renuevan por medio de la infiltración (Agua.org.mx, 2017).

Debemos recordar que el agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos (UN, 2021).

Por lo cual, un factor importante para analizar es el tema de la escasez del agua potable ya que “En todo el mundo, alrededor de 3 de cada 10 personas, o 2100 millones de personas, carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10, o 4500 millones, carecen de un saneamiento seguro, según un nuevo informe de la Organización Mundial de la Salud” (Osseiran, 2017).

Por ejemplo, en América Latina la disponibilidad de agua por habitante ha disminuido en un 22% en los últimos 20 años, y millones de agricultores se enfrentan a sequías que amenazan sus cultivos y ponen en riesgo su supervivencia (UN, 2020).

En el caso de Colombia, pese a ser uno de los nueve territorios más ricos en agua del mundo, al menos un tercio de la población en Colombia urbana padece de estrés hídrico (FORBES, 2021).

El agua es un recurso natural imprescindible e irremplazable necesario para la vida en el planeta, su creciente escasez hace necesario crear nuevos mecanismos y/o estrategias para su aprovechamiento máximo con el fin de incrementar la oferta satisfaciendo en la mayor medida la demanda existente. Ante esa necesidad, se plantea la alternativa de implementar un sistema de aprovechamiento de las aguas de escorrentía de los drenajes superficiales y taludes adyacentes de la infraestructura vial como medio de captación y aprovechamiento de este líquido vital.

6 Matriz FODA

Ilustración 2 Matriz FODA



7 Análisis del Impacto ambiental

Tabla 1

Entrada	Proceso	Salida
Geomorfología	Adecuación del terreno y trazado del sistema de aprovechamiento.	Alteraciones en las geoformas del terreno.
Suelos	Descapote y limpieza.	Modificación de la capa orgánica del suelo.
Geotecnia	Excavaciones.	Variación de la estabilidad del terreno.
Aguas superficiales	Circulación de vehículos por la estructura vial.	Cambio en las características físico químicas de las aguas superficiales.
	Captación del agua de escorrentía.	Cambio en el sistema del drenaje superficial del terreno
Flora	Retiro de capa vegetal para el trazado del sistema de aprovechamiento.	Modificación de la cobertura vegetal herbácea, boscosa y estructura florística.
Fauna	Construcción de la infraestructura del sistema de aprovechamiento.	Modificación de hábitats terrestres, corredores biológicos y distribución de la fauna
Paisaje	Retiro de cobertura vegetal y de la capa orgánica para la adecuación del terreno.	Cambio del paisaje por cobertura vegetal.

En la mayoría de los casos donde se capta agua de fuentes hídricas, ya sean ríos, lagunas, pozos profundos y otros acuíferos, el “medio ambiente” se ve impactado negativamente, provocando en menor o mayor medida alteraciones en los ecosistemas existentes por escasez de agua. Por ello, el consumo de agua debe realizarse de forma responsable y consciente.

Sin embargo, y a pesar de la existencia de tendencias hacia la conservación de recursos, la escasez de agua es cada vez más notoria en diferentes áreas que no cuentan con acueductos eficientes o fuentes de agua capaces de satisfacer la demanda de las poblaciones. Se observa la necesidad de optar por un sistema de suministro, recolección y almacenamiento de agua necesario que pueda ayudar a satisfacer las necesidades de agua en muchos lugares.

Una opción que favorecería mucho a las comunidades afectadas por la falta de agua, es tomar el agua de lluvia que corre por las carreteras ya que estos se comportan de manera similar a un canal, en el momento de la precipitación, las Vías transportan grandes volúmenes de agua, entregándolo a fuentes cercanas o simplemente a tierra donde se filtra al subsuelo y se desperdicia.

También es de tomar en cuenta que las vías de nuestro país discurren por zonas montañosas en gran medida y por terrenos con altos niveles de inundaciones, además de esto en muchos lugares de la geografía nacional existen taludes adyacentes a los caminos que alcanzan rápidamente un estado óptimo de saturación y comienzan a verter agua en las cunetas de las obras viales, este fenómeno sumado a la conducción de agua de escorrentía a través de las obras de arte de las vías significa un alto potencial de abastecimiento de agua.

De esta forma, mediante el diseño y cálculo de embalses y sistemas de canales abiertos de una determinada sección, mediante cálculos como: intensidad de lluvias y caudales disponibles durante las mismas, velocidad de caudal y características del terreno, se puede ayudar a mitigar los impactos ambientales que tiene la construcción de caminos y aceras

Cuando se construyen obras viales siempre se genera un impacto ambiental negativo generalmente alto, deforestación, intervención a los ecosistemas, daño a especies nativas, contaminación por flujo vehicular, entre otros factores que, por la constancia de su ocurrencia, deterioran el medio ambiente y terminan con la fauna y flora que existe a lo largo del recorrido de estos proyectos; al aprovechar el agua de lluvia y de taludes saturadas, se reduce la captación de fuentes naturales como ríos, arroyos, lagunas, entre otros cuerpos de agua. Al implementar el sistema de aprovechamiento propuesto en esta investigación, es posible lograr que las carreteras, caminos y otras obras de infraestructura vial existentes y futuras no solo comuniquen a las poblaciones, sino que también se conviertan en un beneficio adicional como proveedores de agua contribuyendo de esta manera a conservar y aprovechar este importante recurso de manera eficiente.

Cabe señalar que cuando se capte el agua de lluvia, dejará de alimentar los cuerpos de agua existentes, provocando una ligera disminución en su volumen. Para evitar disminuciones significativas en los acuíferos, se debe tomar en cuenta realizar una recolección responsable en la que los embalses tienen capacidad suficiente para entregar una buena cantidad de agua a la comunidad y que, al llegar a su máxima capacidad, las aguas puedan seguir su curso natural.

Esto se puede lograr diseñando el depósito de agua de tal manera que pueda desbordar de manera controlada para no provocar flujos de agua que puedan erosionar el terreno circundante debido a altas velocidades y volúmenes descontrolados, de esta manera lograr un uso equilibrado del agua y aportar una solución a los problemas hídricos que afectan a muchas poblaciones.

Otro factor a tener en cuenta es que el tránsito vehicular genera contaminantes que quedan adheridos a la superficie de las vías y son arrastrados y disueltos por la escorrentía, todos ellos en su mayoría agentes químicos; Aceites, combustibles, herrumbre, fragmentos de metal, caucho de las ruedas y otros que pueden contaminar el agua, dañando la capa vegetal de los lugares que sirven para el vertido de dichas aguas, así como a las fuentes de agua. Por tal motivo, a la hora de diseñar el sistema

de captación y aprovechamiento es relevante tener en cuenta la construcción de un purificador de agua que reduzca la concentración de contaminantes en el agua.

Si el agua recolectada no es tratada o al menos filtrada, no se podrá utilizar y cualquier esfuerzo para su aprovechamiento será en vano, las aguas que se puedan captar y almacenar se podrán utilizar principalmente para riego de cultivos y uso doméstico, sin ser totalmente potable, es decir, podría ser utilizada para la elaboración de productos agrícolas y limpieza en los hogares, estas actividades son las que demandan mayor costo de agua y la mayoría no requieren agua cien por ciento potable, lo que facilita el uso de este medio de explotación. A medida que se reduce el consumo de agua de acueducto de acuíferos naturales, se genera un aumento en la eficiencia de los acueductos, posibilitando que más población tenga acceso al recurso y que sea más rentable tener cultivos.

Por otro lado, si se favorece el aumento de cultivos, esto significa una mayor densidad de plantas por unidad de área, lo que ayuda a mejorar el aire, ya que las plantas producen oxígeno y filtran el aire, limpiándolo de contaminación y polución, sin embargo, El trabajo de Cultivo también debe realizarse de manera responsable ya que la sobreexplotación prolongada de la tierra provoca la esterilidad de la misma, en todo momento debe realizarse de manera equilibrada, tanto la captación de agua como las labores que dan lugar a un aumento en la disponibilidad de los mismos.

8 Descripción de los componentes del sistema de aprovechamiento

El sistema de aprovechamiento se basa en aprovechar la estructura de las vías, junto con las obras de drenaje y subdrenaje para captar el agua de lluvia, aguas infiltradas y aguas de escorrentía que son recolectadas por ellas, que luego serán conducidas por un canal o canales hacia un proceso de filtración y purificación para luego ser almacenadas como reserva de agua.

8.1.1 Elementos que conforman el sistema de aprovechamiento

8.1.1.1 Área de captación

Para este sistema, se propone que el área de captación se ubique en los descoles de las obras de drenaje como cunetas, drenes y alcantarillas.

8.1.1.2 Rejilla

Se instalará una rejilla en la zona de captación para evitar el paso de grandes elementos sólidos.

8.1.1.3 Conducción del agua

Dependiendo de la topografía del terreno, se pueden utilizar obras como disipadores de energía, canales, tuberías, zanjas revestidas o no revestidas, entre otras, para guiar el agua entre la captación y el almacenamiento.

8.1.1.4 Filtración

El filtrado es la parte más importante del sistema de aprovechamiento, ya que es allí donde se depurará el agua recolectada, eliminando impurezas y microorganismos, haciendo que el agua sea potable y pueda ser utilizada de manera segura.

8.1.1.5 Almacenamiento

Una vez filtrada el agua, se almacenará en un tanque cuyo tamaño dependerá de las necesidades y de la capacidad de recolección del sistema. En la actualidad, para este tipo de tanques se utilizan mayoritariamente tanques de plástico ya que este material permite que el agua almacenada no se contamine con tanta facilidad.

8.1.2 Ventajas y desventajas

Entre las ventajas que encontramos con este sistema de aprovechamiento tenemos:

- El cuidado del medio ambiente,
- Se reduce el volumen de agua lluvia vertido a propiedades vecinas, contribuyendo a la mitigación de riesgos y desastres,

- La captación de agua de lluvia y agua de infiltración, que puede ser usada para todo tipo de necesidades, como en hogares, sistemas de riego, en producción de alimentos o incluso para el uso de diferentes procesos industriales o empresas, y
- Suministro de agua ideal para comunidades dispersas y remotas.

A su vez, tenemos las siguientes desventajas:

- La cantidad de agua captada depende de las precipitaciones del lugar y del área de captación,
- Pueden presentarse altos índices de Turbidez, alcalinidad, alta presencia de sólidos en suspensión
- No existen normativas que promuevan la implementación de este tipo de sistema de aprovechamiento del agua.

9 Parámetros de diseño del sistema de aprovechamiento.

9.1.1.1 Canales abiertos

Como parámetro del sistema de aprovechamiento se tendrá en cuenta el diseño de un canal que sirva como conducto donde fluya el agua recolectada por el sistema, este canal puede ser de sección trapezoidal, rectangular o triangular.

La sección trapezoidal por lo general se usa en canales de tierra, gracias a que proveen las pendientes necesarias para brindar una mayor estabilidad, también son muy eficientes en canales revestidos. La sección rectangular consta de dos lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales resistentes y la sección triangular es muy usada en cunetas en tierra o revestidas en las carreteras.

Estos canales cuentan con los siguientes elementos geométricos:

Y (d)= tirante o profundidad del flujo

S= pendiente

T= superficie libre del agua o espejo de agua

Bl= borde libre

b= plantilla base menor

R= radio hidráulico

m (z)= talud

n= coeficiente de rugosidad de Manning

P= perímetro mojado

A= área hidráulica

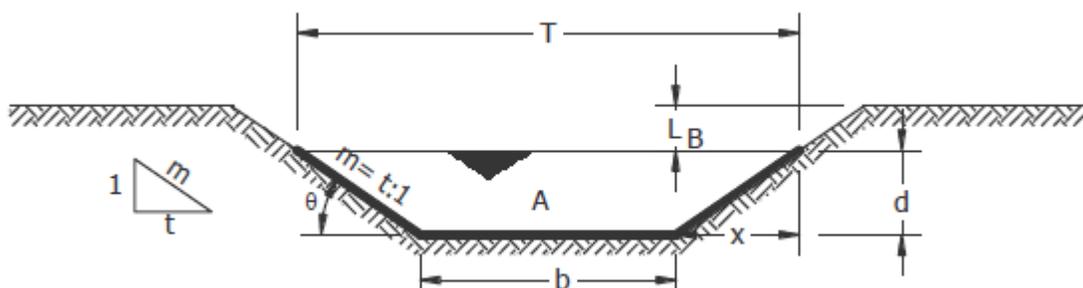


Fig. 1.5. Elementos geométricos más importantes.

Ilustración 3 Elementos geométricos importantes (Ruiz, 2008)

SECCIÓN	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRÁULICO	ANCHO SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA
<p>Rectangular</p>	$b \cdot d$	$b + 2d$	$\frac{bd}{b + 2d}$	T	d
<p>Trapezoidal</p>	$b \cdot d + md^2$	$b + 2d \sqrt{1 + m^2}$ O también : $b + 2d \sqrt{1 + \text{ctg}^2 \theta}$	$\frac{bd + md^2}{b + 2d \sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2md$	$\frac{bd + md^2}{b + 2md}$
<p>Triangular</p>	md^2	$2d \sqrt{1 + m^2}$ O también	$\frac{md}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$2md$	$\frac{d}{2}$

Tabla 2 Ecuaciones de los elementos geométricos importantes (Ruiz, 2008)

10 Trabajo técnico

10.1 Recolección de la información del punto de investigación

Con el propósito de dar un referente de estudio, para el análisis de la propuesta realizada, se llevó a cabo la recolección de información de campo, que consistió en la identificación de una vía que propicie ciertas condiciones que puedan contribuir a la correcta formulación de la propuesta.

Para tal fin, se escogió al municipio de Nilo, ubicado en el departamento de Cundinamarca, en donde encontramos la vía que comunica al centro poblado de Pueblo nuevo con la vereda Batavia. Realizando un recorrido por esta vía, se contemplaron temas como: el tipo de superficie de rodadura, obras de drenajes, corrientes de agua superficiales, taludes adyacentes saturados, inclinación de la vía, obras de subdrenaje, nacimientos de agua cercanos, cultivos y viviendas aledañas, lo anterior con su correspondiente registro fotográfico.

10.2 Ubicación general

El municipio de Nilo se encuentra localizado al sur occidente del departamento de Cundinamarca y hace parte de la provincia del Alto Magdalena. Limita Por el Norte con los municipios de Tocaima y Viotá. Por el Sur con el río Sumapaz y el municipio de Melgar (Tolima). Por el Este con los municipios de Tibacuy y Melgar (Tolima) y por el Oeste con los municipios de Agua de Dios y Ricaurte.

Territorial y administrativamente el municipio de Nilo se divide de la siguiente manera: el sector urbano o cabecera municipal, centro poblado de Pueblo Nuevo, centro poblado de La Esmeralda; El sector rural comprendido por las veredas: Buenos Aires, Balunda, Batavia, San Bartolo, Los Curos, Agudiocito, Limones, Margaritas, Pajas Blancas, Pradito, Bellavista, San jerónimo, Belén, Malachí, La Palmita, La Sonora, Cobos, La Esmeralda (suelo rural) y Tolemada.



Ilustración 4 Ubicación del municipio de Nilo



Ilustración 5 División política del municipio de Nilo.

10.3 Ubicación del área de investigación

Como lugar de investigación se escoge a la vereda Batavia, donde se encuentra la vía que del centro poblado de pueblo nuevo conduce a la vereda Batavia. Esta es una vía de tercer orden, la cual cuenta con una longitud aproximada de 5,4 km y una diferencial de altura entre el punto inicial y el punto final de 528 metros aproximadamente. Se ubica en las siguientes coordenadas: Punto inicial $4^{\circ}20'44.81''N$ $74^{\circ}32'33.18''O$, Punto final $4^{\circ}19'31.69''N$, $74^{\circ}31'20.27''O$



Ilustración 6 | Ubicación de la vereda Batavia.



Ilustración 7 Ubicación del punto inicial y el punto final del trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia en Google Earth.

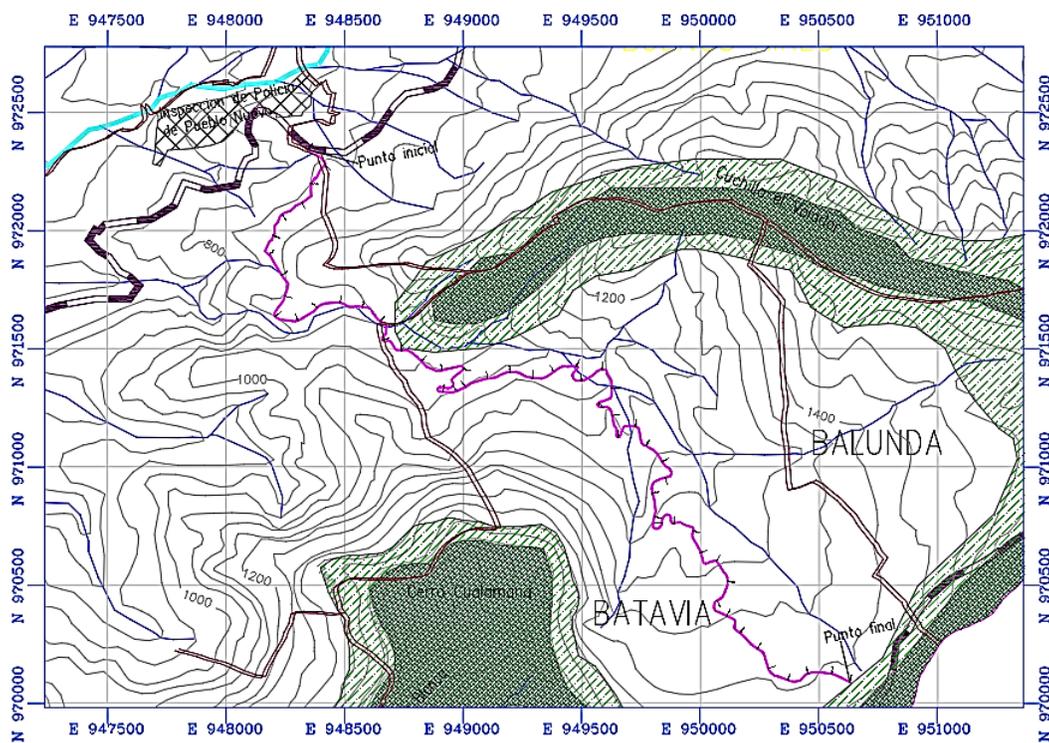


Ilustración 8 Trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia

PERFIL VIAL

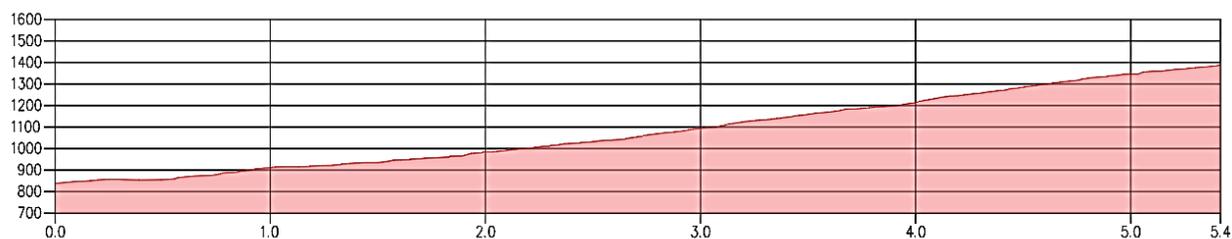
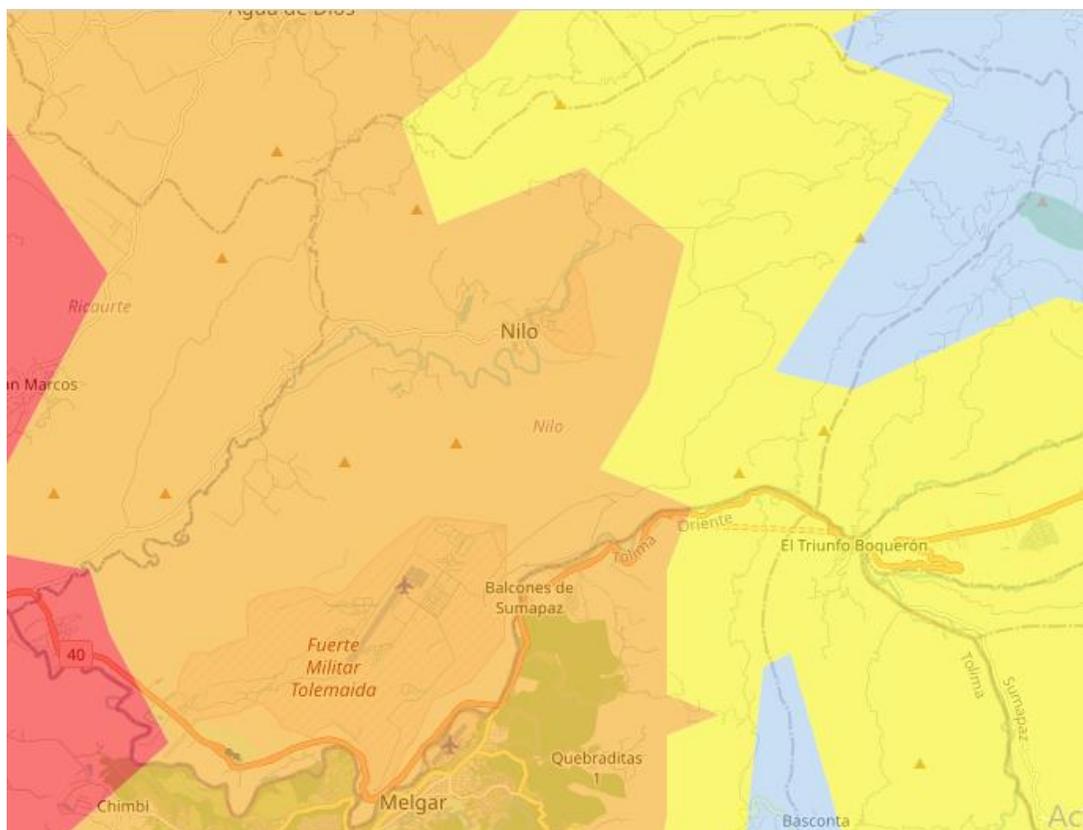


Ilustración 9 Perfil del trazado de la vía Pueblo Nuevo – Vereda Batavia

10.4 Descripción de la zona de estudio

En general, La zona de estudio es de relieve montañoso y quebrado, donde encontramos altitudes desde los 827 msnm en el centro poblado de Pueblo Nuevo hasta los 2000 msnm en la cumbre más alta, la temperatura en grados Celsius oscila entre los 18 a 22 grados y cuenta con una intensidad de lluvia promedio anual de entre los 1000 a los 1500 mm, lo que hace esta zona del municipio propicia para el cultivo de café, los cuales se observan en gran medida en el área a lo largo del eje vial de interés. Esta región cuenta además con un gran número fuentes hídricas y afluyentes que propician un elevado índice de humedad en el terreno.



Temperatura Media Anual Promedio Multianual

Periodo 1981-2010

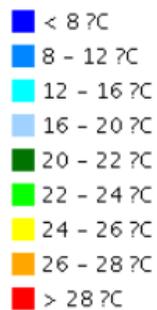
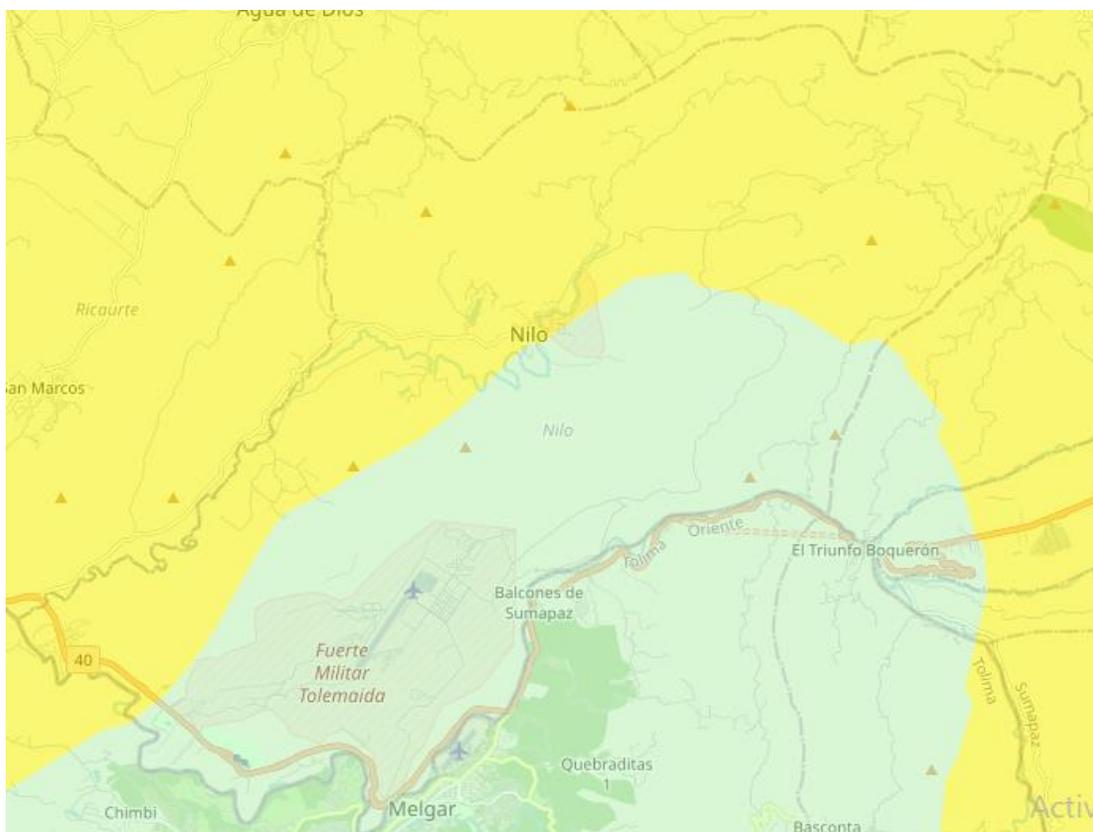


Ilustración 10 Temperatura media anual promedio periodo 1981-2010 – tomada del geovisor del IDEAM



Precipitación Media Total Anual Promedio

Multianual 1981-2010

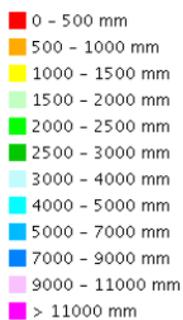
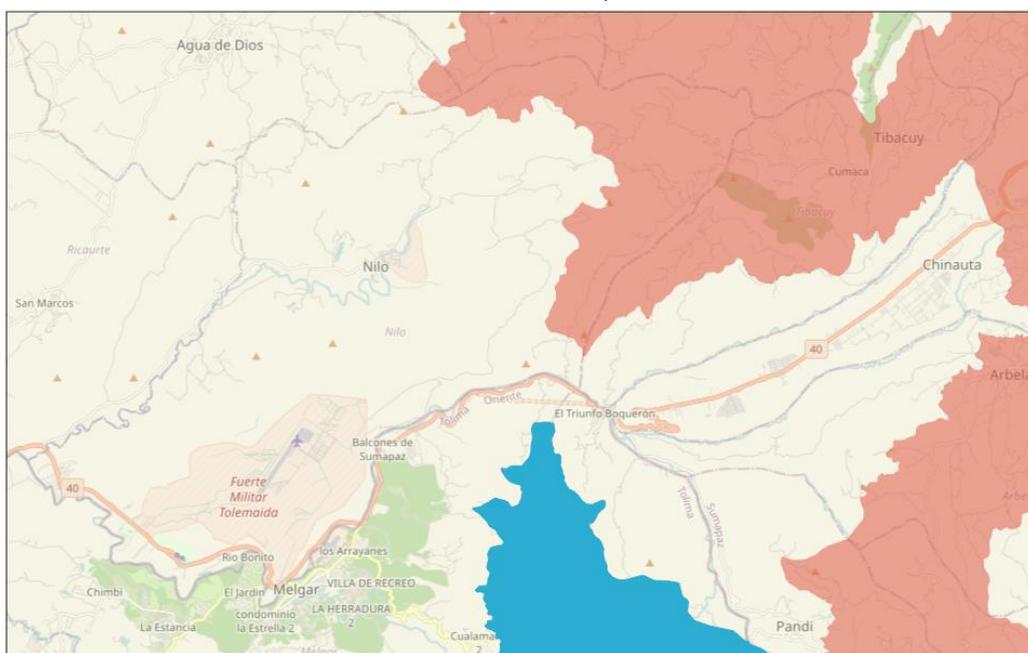


Ilustración 11 | Precipitación media total anual periodo 1981-2010 – tomada del geovisor del IDEAM

Zona cafetera del Municipio de Nilo



April 13, 2021

1:144,448
0 1.25 2.5 5 mi
0 2 4 8 km
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Ilustración 12 Zona cafetera del Municipio de Nilo – tomada de la federación de cafeteros



Ilustración 13 Relieve montañoso de la zona

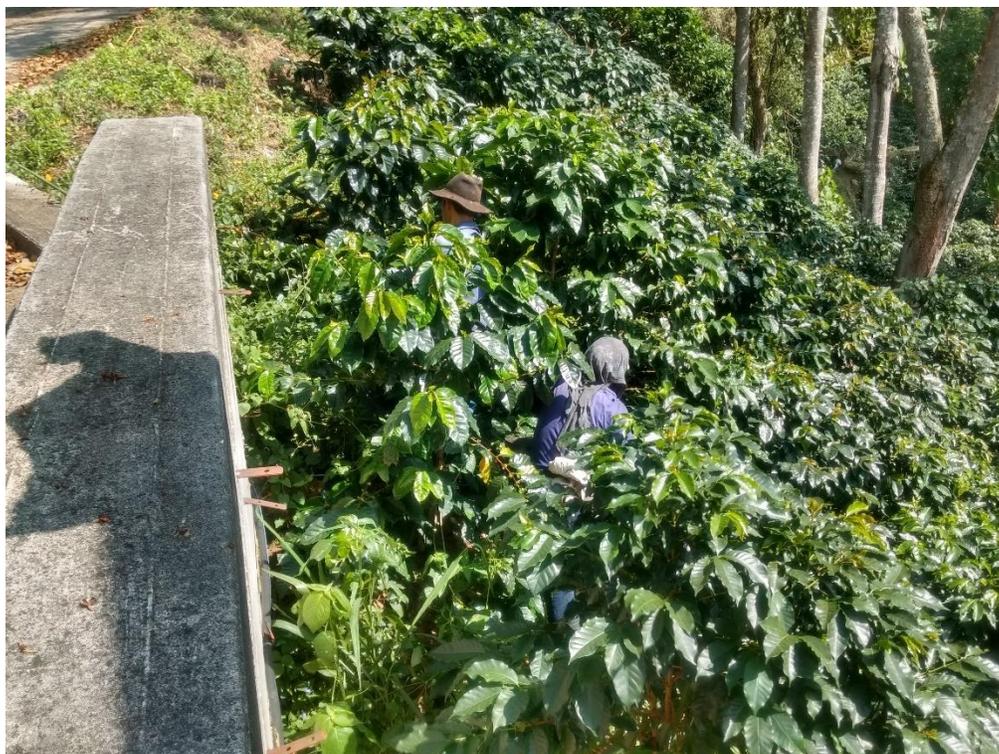


Ilustración 14 *Recolectores de café al margen de la vía*



Ilustración 15 *Grano de café de la zona*

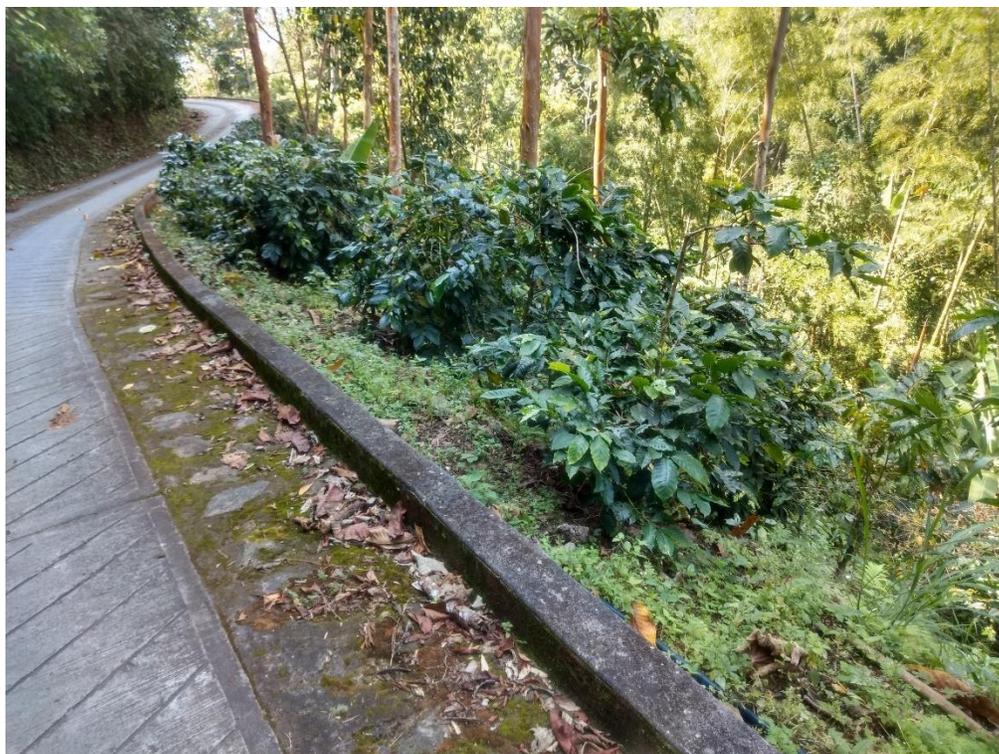


Ilustración 16 *Café sembrado al margen de la vía*



Ilustración 17 *Drenaje superficial y subdrenaje*

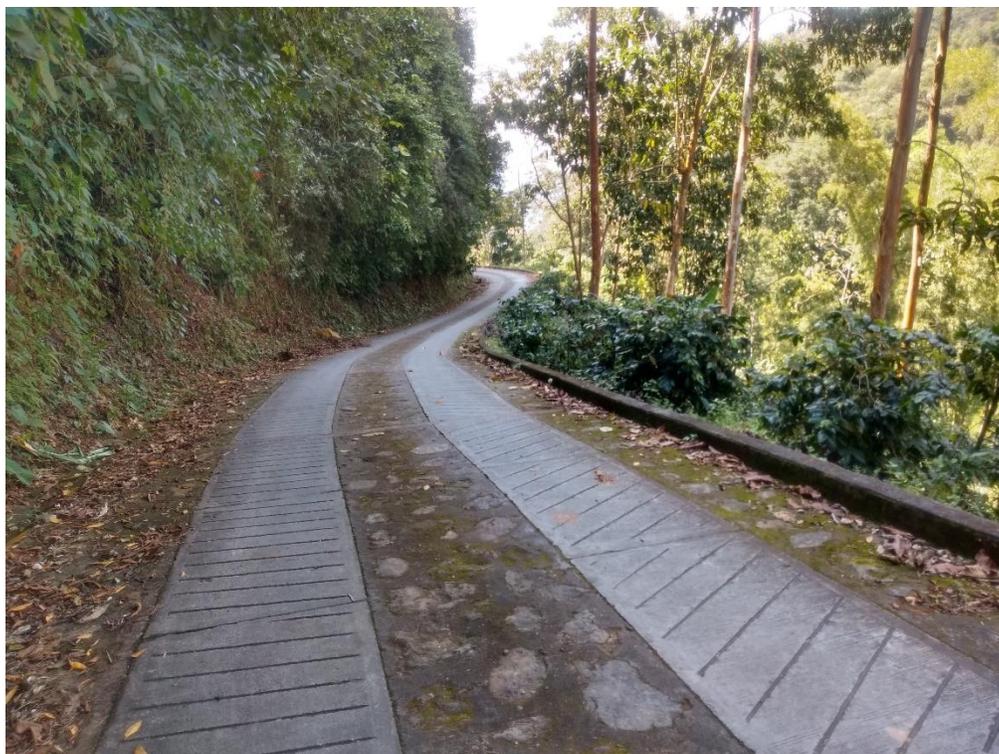


Ilustración 18 Estructura vial en placa huella



Ilustración 19 Escorrentía superficial en día de lluvia

10.5 Punto de investigación

Como punto de investigación se escogió una ubicación situada en el Km 3+390 al Km 3+878 de la vía mencionada, donde se encuentra un talud adyacente saturado, observándose la existencia de un dren en paralelo con la vía, una estructura vial en placa huella que cuenta con una cuneta y, por último, una alcantarilla en buen estado que recibe y direcciona el agua de escorrentía del dren y de la recolectada por la estructura de la vía.



Ilustración 20 Estructura vial en placa Huella



Ilustración 21 Nacimiento de agua proveniente del talud adyacente a la vía.



Ilustración 22 Escorrentía que recoge la cuneta de la vía en día lluvioso.



Ilustración 23 Escorrentía que se vierte al encole de la alcantarilla proveniente de la cuneta y el sistema de subdrenaje existente.

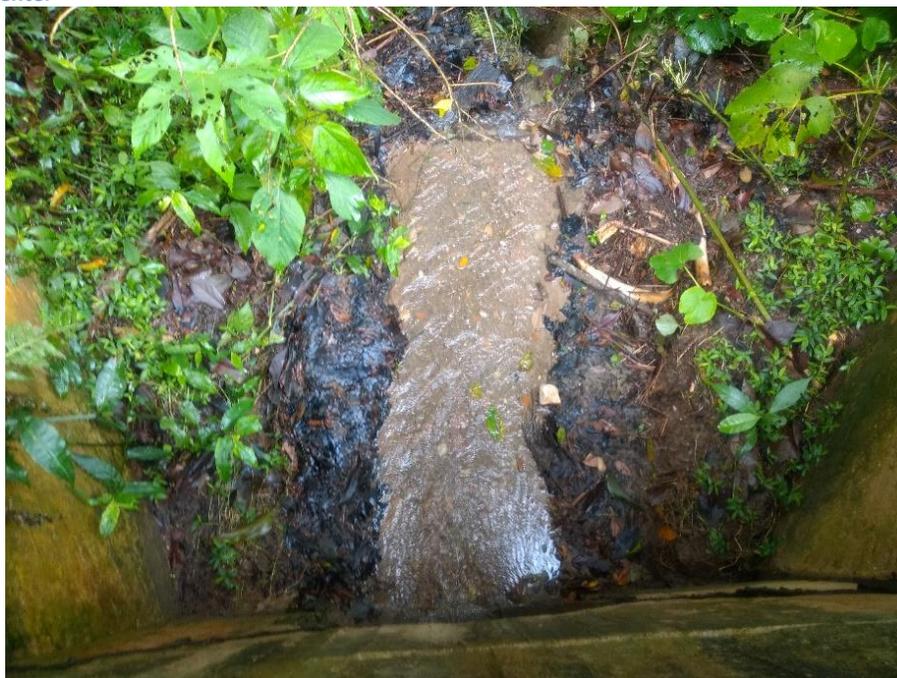


Ilustración 24 Descole de la alcantarilla que recoge el agua proveniente de la cuneta y el sistema de subdrenaje existente

10.6 Levantamiento topográfico del punto de investigación

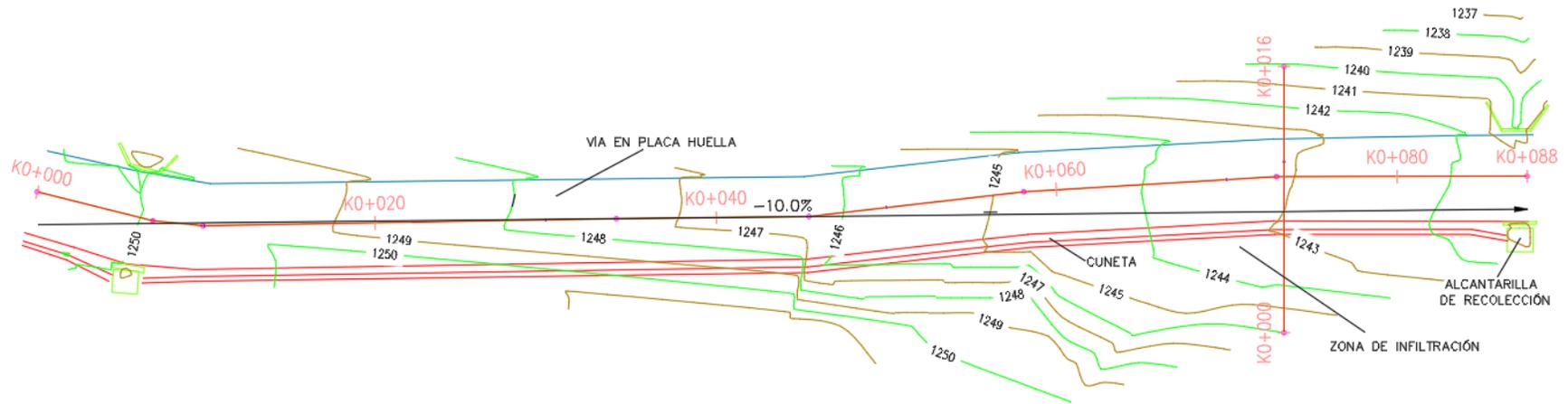


Ilustración 25 Planta del Levantamiento topográfico.

PERFIL LONGITUDINAL

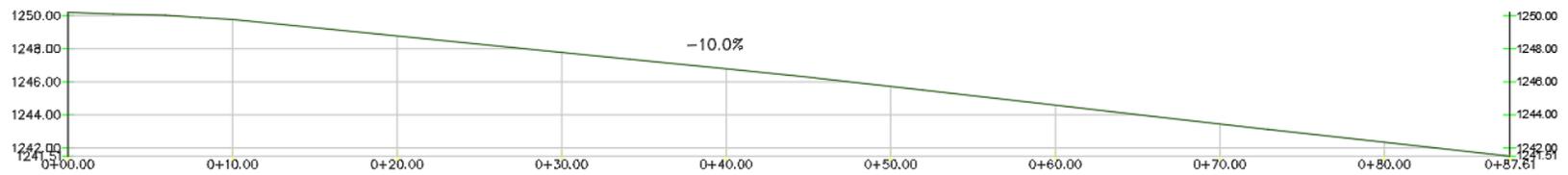


Ilustración 26 Perfil longitudinal del tramo.

PERFIL TRANSVERSAL



Ilustración 27 Perfil transversal.



Ilustración 28 Registro fotográfico

10.7 Datos pluviométricos.

Con el fin de calcular la geometría del canal de conducción de aguas de escorrentía, hacia el sistema de aprovechamiento es preciso consultar estaciones hidrometeorológicas aledañas a la zona de estudio; ya que, es necesario hacer la estimación de caudales disponibles. Para tal efecto se han consultado y descargados de tres estaciones activas y monitoreadas por el IDEAM, obteniendo información acerca del máximo de precipitaciones durante un periodo comprendido entre los años (2016-2021); hallando el año con mas precipitaciones en cada estación, de esta manera se presentan dichos datos a continuación.

Recolección de datos hidrometeorológicos.

Se consulta en la página web del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) los datos hidrometeorológicos de las estaciones activas y más cercanas al municipio de Nilo; teniendo en primer lugar la estación de Lago del indio ubicada en el municipio de Viotá Cundinamarca y en segundo lugar la estación Tocaima ubicada en el municipio de Tocaima-Cundinamarca. En la tabla 5 se describen los datos representativos de estas 3 estaciones seleccionadas:

Estaciones climatológicas investigadas.

Estación	Código	Coordenada	Municipio	Altura m.s.n.m
Lago del Indio	21201840	-	Viotá	567
Tocaima	21208900	-	Tocaima	432
El pinar	21190310	-	Fusagasugá	1765

De la estación Lado del indio, Tocaima y el pinar se extraen los datos de precipitaciones máxima durante el periodo comprendido entre el año 2016 y 2021 relacionando a continuación los siguientes datos

Tabla 3 Datos pluviométricos tomados de estación meteorológica Fusagasugá-el pinar.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Año												
2016	26,7	75,3	33,7	32,8	14,1	12,4	26	13,5	29,1	34,5	75,5	19,8
2017	40,7	40,7	63	50	25,7	12,8	14,5	8,3	29	38,7	49,7	48,9
2018	47,7	40	31,5	22,2	25,7	5,5	12,6	28,8	11,1	66,9	49	29,5
2019	25,1	34,2	54,4	42,5	26,2	9,8	27,5	8,3	20,5	20,1	41,2	27,8
2020	45,8	48,5	50	22,8	25,5	14,6	17	58,2	30,6	33	31,3	26,9
2021	18,1	48,5	50	36,3	40	26,7	23,5	23	19,7	42,1	27,6	
Max anual												
2016											75,5	
2017			63									
2018										66,9		
2019			54,4									
2020								58,2				
2021			50									
Promedio anual												
2016	32,8											
2017	35,2											
2018	30,9											
2019	28,1											
2020	33,7											
2021	32,3											
Max prom anual												
2017						35,2						

Tabla 4 Datos pluviométricos tomados de estación meteorológica Viotá-lago del indio.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Año												
2016	16,7	28,4	83	39,3	24,6	12,2	7,6	8,8	76,6	40,9	40,5	52,3
2017	64,5	18,2	49,4	37,6	39,4	8,7	8,2	5,7	54,3	68,1	78,3	20,5
2018	9,1	39,3	39,8	58	36,5	23,3	11	5,5	40,5	57,3	29,2	6,7
2019	43,8	15,3	34	71,5	30,8	6,3	13	2,2	5,5	42,5	56,7	12,8
2020	13	50	48	15,5	47,5	66,5	40,3	43,5	5,1	42,2	37,3	52,4
2021	45											
Max anual												
2016			83,0									
2017											78,3	
2018				58,0								
2019				71,5								
2020						66,5						
2021	45,0											
Promedio anual												
2016	35,9											
2017	37,7											
2018	29,7											
2019	27,9											
2020	38,4											
2021	45,0											
Max prom anual												
2020						38,4						

Tabla 5 Datos pluviométricos tomados de estación meteorológica Tocaima

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Año												
2016	11,0	50,5	48	40	36,3	16,4	5,2	8,7	35	49,8	65	41,1
2017	39,5	61,6	110	33	73,1	39	17,7	7,5	15,5	22,9	77	33,3
2018	20	37,7	25,8	27,5	34,8	13,2	14	3,8	33,7	79,6	53,7	4
2019	14	46,8	45,3	41,2	42,5	5,8	6,4	0	36,5	47,5	24,3	19,5
2020	17,1	41,1	28,6	20,3	22	103	13,6	22	24,2	17	24,2	17
2021	11,5	40	41,1	65,4	38	53						
Max anual												
2016	65,0										65	
2017	110,0		110									
2018	79,6									79,6		
2019	47,5									47,5		
2020	103,0					103						
2021	65,4			65,4								
PROMEDIO ANUAL												
2016	33,9											
2017	44,2											
2018	29,0											
2019	27,5											
2020	29,2											
2021	41,5											
MAX PROM ANUAL												
2017							44,2					

Determinación de caudal máximo

Con los datos de precipitación recolectados de las tres estaciones meteorológicas

se aplica el método de la ecuación racional para conocer el caudal máximo que recolectaría el área del canal que se piense diseñar.

Ecuación 1 .

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

$$Q = \frac{0,60 \cdot 44,2 \cdot 0,15}{360} = 0,012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde,

Q= Caudal de diseño, correspondiente al periodo de retorno seleccionado, en m³/s

C= Coeficiente de escorrentía

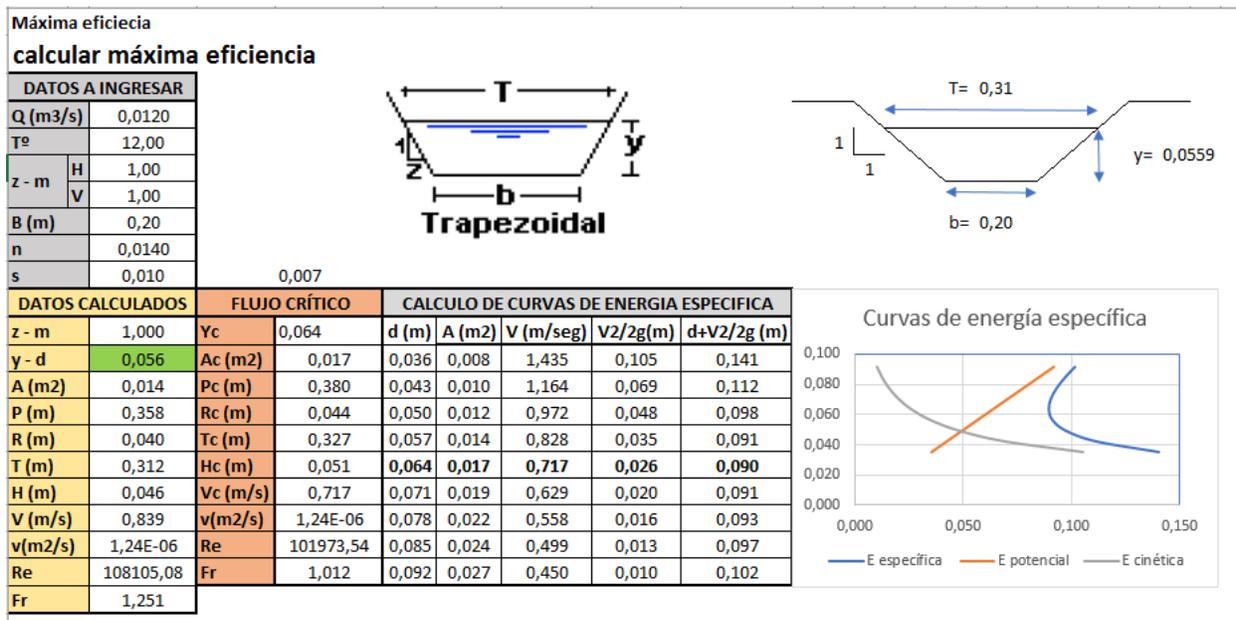
i = intensidad de lluvia de diseño

A = Área del canal

11 Diseño geométrico del canal

Mediante herramienta informática Excel, se crea tabla dinámica que permite calcular automáticamente la geometría del canal y su máxima eficiencia, a partir de datos de entrada como son: caudal, temperatura del agua, pendiente e índice de rugosidad de Manning. Como resultado, se obtienen los parámetros de diseño hidráulico que determinan: área hidráulica, perímetro húmedo, radio hidráulico, altura de la lámina de agua, profundidad hidráulica, régimen de flujo, velocidad del agua, viscosidad cinemática, número de Froude, número de Reynolds y curvas de energía específica.

Tabla 6 Tabla dinámica creada en Excel.



12 Conceptualización del modelo

Mediante el programa HEC-RAS se realizó el análisis hidráulico en 2D de la sección del canal diseñado e implementado conjuntamente con el modelo digital de elevación, caudal obtenido previamente y coeficientes de rugosidad adoptados para el diseño.

12.1 Software HEC-RAS

El Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC - RAS) es modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

Ilustración 29 Sección de canal aguas arriba

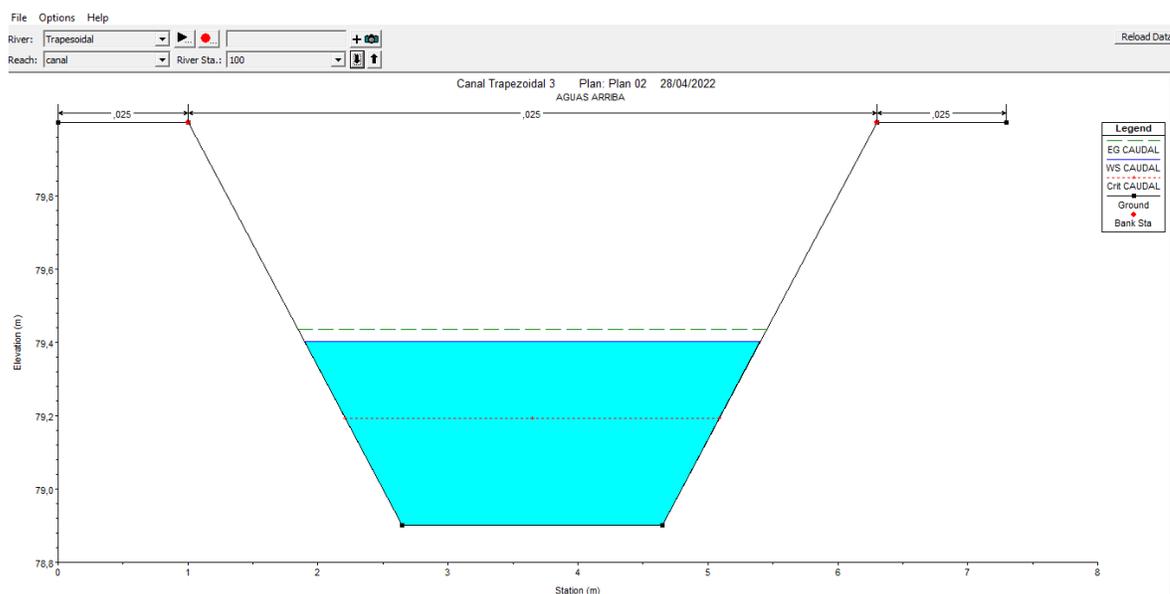


Ilustración 30 Sección del canal aguas abajo

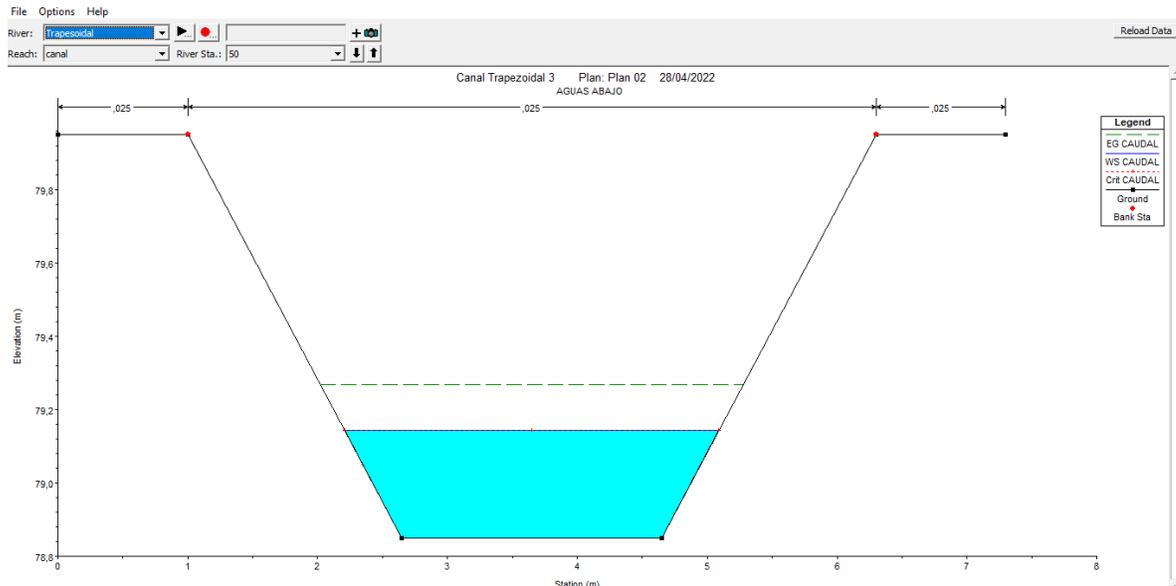


Ilustración 31 Perfil del canal

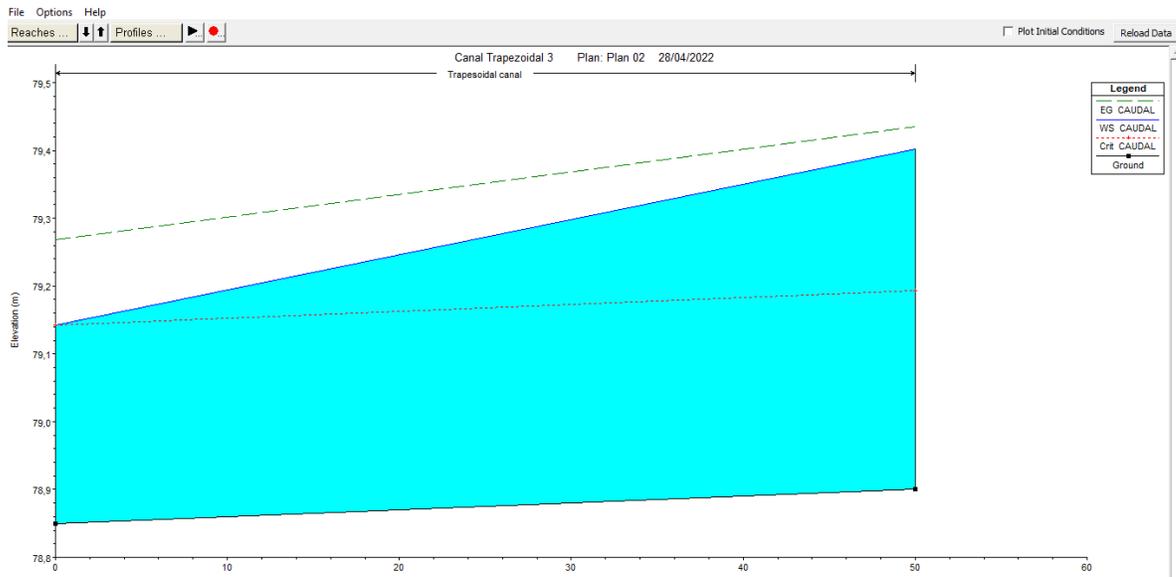


Ilustración 32 Relación distancia-velocidad

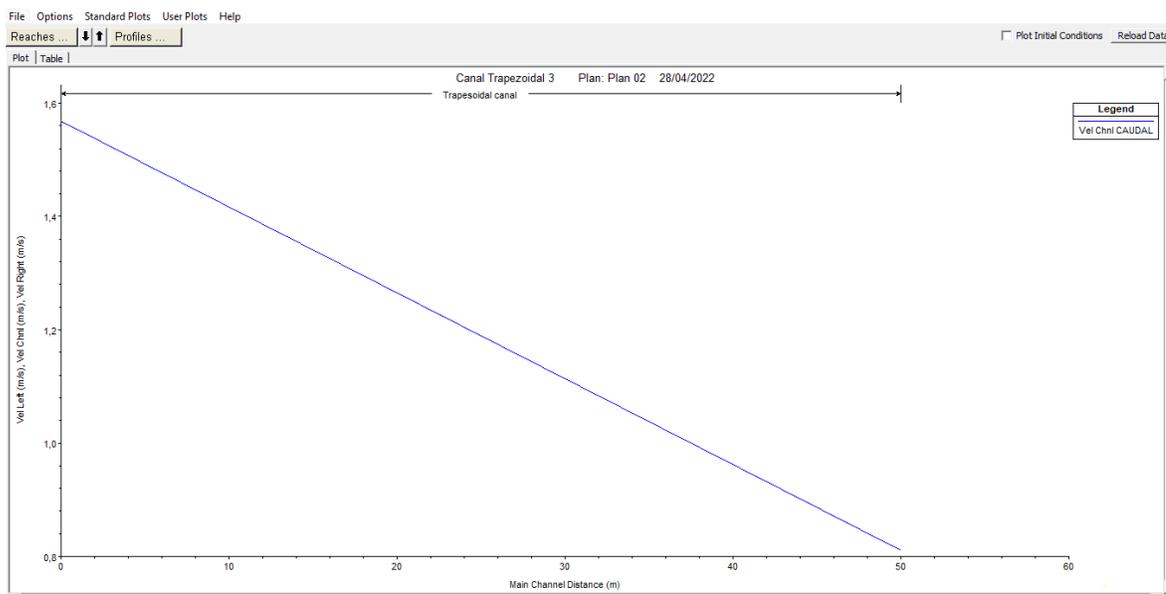
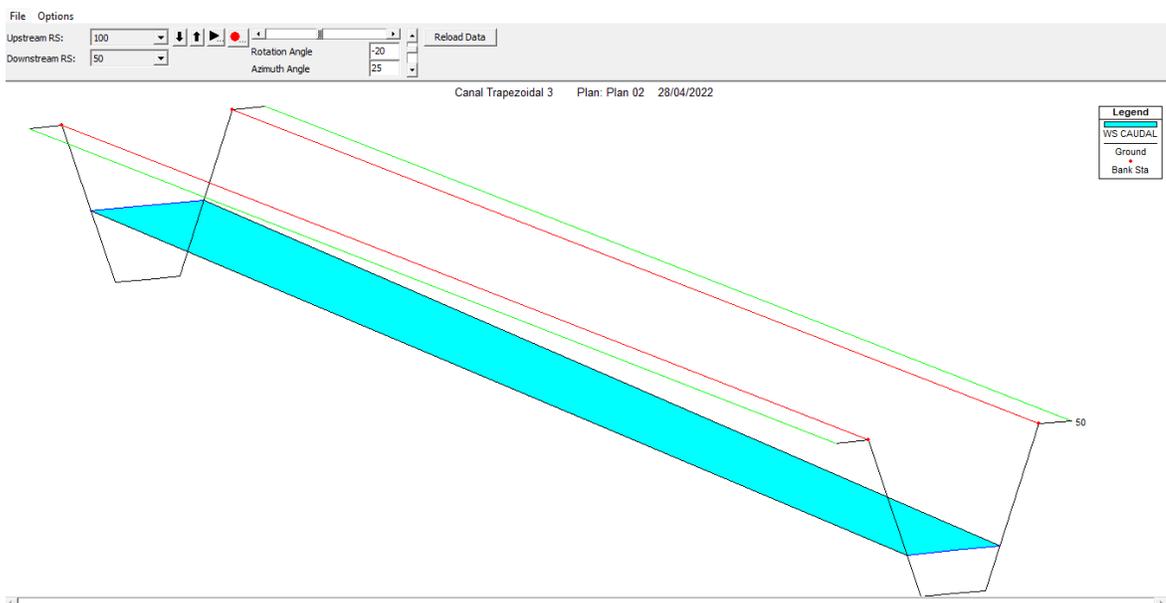


Ilustración 33 Sección de canal modelado en 3D

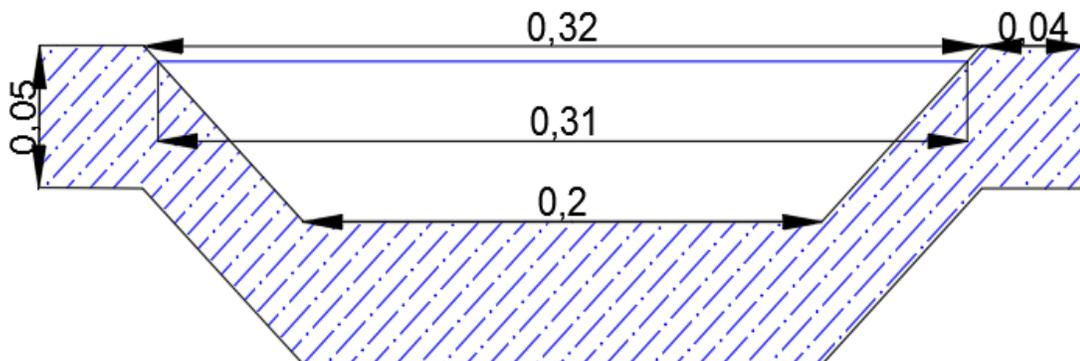


13 Conclusiones

La práctica profesional por emprendimiento es la gran oportunidad de expresar las ideas y ponerlas en marcha mediante procesos formativos. Por medio de la práctica se fortalece el perfil emprendedor y promueve formulación de soluciones para problemáticas existentes replanteando las ideas principales de un proyecto para que este funcione eficazmente, La sistematización de la práctica es el resumen de la experiencia vivida durante ese proceso que sin duda renueva la perspectiva de cada individuo respecto a su formación profesional.

Anexos

Anexo 1 Sección de canal modelada en AutoCAD



14 Referencias

- Agua.org.mx. (2017). *Todo sobre el agua*. Obtenido de Agua en el planeta: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- FORBES. (02 de Julio de 2021). *Gestión de agua: ideas para evitar una crisis en Colombia*. Obtenido de RED FORBES: <https://forbes.co/2021/07/02/red-forbes/gestion-de-agua-ideas-para-evitar-una-crisis-en-colombia/>
- IDEAM. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>
- IDEAM. (s.f.). Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- INVIAS. (2009). *invias.gov.co*. Obtenido de Manual de drenaje para carreteras: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>
- Osseiran, N. (12 de Julio de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Comunicados de prensa: <https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Ruiz, P. R. (2008). *Hidraulica II de canales*.
- sswm. (17 de Diciembre de 2018). *Agua de lluvia*. Obtenido de Sustainable Sanitation and Water Management : <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/agua-de-lluvia>
- UN. (14 de Enero de 2020). *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- UN. (14 de Enero de 2021). *Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. Obtenido de Naciones Unidas : <https://www.un.org/es/global-issues/water>