



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO
DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PREDISEÑO DEL PASO DE AGUA PLUVIAL EN LA QUEBRADA SECA,
A LA ALTURA DE LA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS,
FRENTE A INDUSTRIAS LIZANO**

Francisco González Grajales

SAN JOSÉ, COSTA RICA

14 ENERO 2022

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil, requisito para optar para el grado de licenciatura.

Ing. Alberto González Solera
Tutor

Ing. José María Ulate Zárate
Lector

CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL TUTOR Y DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 14 de enero de 2022

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista Nacional General Cañas, frente a Industrias Lizano, elaborado por el estudiante Francisco González Grajales, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

José María
Ulate Zárate

Firmado digitalmente
por José María Ulate
Zárate
Fecha: 2022.01.14
11:10:45 -06'00'

Ing. José María Ulate Zárate

IC-28825

DECLARACIÓN JURADA

Yo Francisco González Grajales estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo fe de juramento y consiente de las responsabilidades penales de este acto, que soy autor intelectual del Proyecto Final de Graduación titulado:

PREDISEÑO DEL PASO DE AGUA PLUVIAL, EN LA QUEBRADA SECA, A LA ALTURA DE LA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS, FRENTE A INDUSTRIAS LIZANO

Por lo que libero a la Universidad Latina de Costa Rica de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Brindada en Heredia, San José, Costa Rica a los 14 días del mes de enero del año 2022.

Ing. Francisco González Grajales
Cédula número 4-0147-0155

DEDICATORIA

Dedico este trabajo muy especialmente a mi esposa María Auxiliadora, por toda la paciencia mostrada y el sacrificio durante este periodo, el sacrificio fue mutuo, no solo en recursos económicos, también en tiempo de familia invertido para alcanzarlo, hoy ya finaliza este proyecto y no dudo en dedicárselo especialmente a mi amada esposa.

También con mucho amor dedico este trabajo a mis hijas, Mariana, Mariaceleste y Maripaz, quienes también saben del esfuerzo y la dedicación que ha significado culminar esta etapa de mi vida, son varios años invertidos para finalmente llegar a esta última fase de la carrera, espero sirva de ejemplo para que valoren esta gran labor, no fue sencillo y espero les permita comprender que no hay edad para buscar nuevos retos y anhelar nuevas oportunidades, que la fórmula para lograr culminar con éxito cualquier proyecto que tengamos, radica en el interés, el amor, el esfuerzo, la dedicación y la constancia que le dediquemos, factores que dependen de uno mismo.

A mi madre, por supuesto que también le dedico este trabajo, es un pequeño gesto comparado con todo el apoyo y los buenos consejos brindados durante toda mi vida. Siempre has estado conmigo, celebrando mis logros e impulsándome con buenas vibras y oraciones, que se Dios escucha, doña Tere, cada circunstancia que se me presenta, la vives como propia, hoy estoy a la puerta de una muy satisfactoria, de esas que me infla el pecho de orgullo, significa subir un peldaño, quizás no tan grande, pero lo importante es que tú lo subes conmigo.

Del Autor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, por darme la oportunidad de iniciar y finalizar este proceso, a la Virgen María, por siempre iluminar mi camino, gracias de corazón porque este proyecto estoy seguro fue idea de ustedes, yo tan solo un instrumento para ejecutarlo.

También agradezco a mis padres, Francisco y Teresa, porque siempre he contado con su apoyo, especialmente por inculcarme el amor al estudio y el deseo de superación, también por la oportunidad de estudiar cuando aún era muy joven, sé que ambos sacrificaron mucho por mí, les agradezco a ambos, pero especialmente a mi madre, ella siempre supo motivarme, muchas fueron sus oraciones, siempre me impulsaba para que llegara más alto, buscara nuevas metas, gracias por tu buen consejo, por tu voz de aliento para continuar y no desistir conmigo.

Gracias, mami, te amo.

Del Autor.

Índice General

Resumen.....	1
1. Problema y Propósito.....	2
1.1. Estado actual del objeto de estudio	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Importancia del problema	4
1.4. Ubicación.....	4
1.5. Punto de interés y punto de aforo.....	6
2. Antecedentes	8
2.1. Problema reincidente	8
2.2. Favorecimiento del problema	9
3. Enunciado del problema	10
4. Objetivos	10
4.1. Objetivo general	10
5. Alcances de la investigación.....	10
6. Limitaciones de la investigación.....	11
7. Justificación	11
8. Actualidad del problema.....	13
8.1. Importancia de la solución.....	13
8.2. Beneficiados	14
8.3. Síntesis del problema.....	14
9. Fundamentación teórica	18
9.1. Marco Teórico-Conceptual y Técnico-Referencial	18
9.1.1. Marco Legal.....	18
9.1.2. Conceptos hidráulicos e hidrológicos.....	19
10. Marco Metodológico.....	50
10.1. Tipo de investigación.....	50
10.2. Enfoque sistemático.....	50
10.3. Naturaleza del trabajo.....	50
10.4. Carácter	50
10.5. Administración y abordaje del proyecto.....	50
10.5.1. Etapa 1: Estudios preliminares.	50
10.5.2. Etapa 2: Prediseño.....	52

10.5.3. Etapa 3: Sugerencia de cambios.	52
11. DESARROLLO DEL TRABAJO	53
11.1 Análisis hidrológico	53
12. Rediseño de la alcantarilla	84
12.1 Área efectiva de la nueva alcantarilla	84
12.2 Modificación de las secciones transversales involucradas	84
13 Análisis de resultados	90
13.1 Modelo actual y modelo propuesto	90
13.2 Comparación entre la sección transversal 523.06 del modelo propuesto contra 523.06 del modelo actual.	91
15. Conclusiones	103
16. Recomendaciones	106
17. Referencias Bibliográficas	107
ANEXOS	109

Índice de Figuras

Figura 1.1. Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío, área de interés e hidrografía	5
Figura 1.2. División administrativa (cantones) involucrados en el sector de la subcuenca.....	6
Figura 1.3. Punto de interés, punto de afora y cauce principal	7
Figura 1.4. Sub cuenca Quebrada Seca y Río Burío	8
Figura 7.1. Foto de la Autopista General Cañas, completamente inundada por las lluvias	12
Figura 8.1. Peatones y automóviles atrapados por inundación en Autopista General Cañas	15
Figura 8.2. Foto de la Autopista General Cañas, completamente inundada por las lluvias, daños en vehículos	16
Figura 8.3. Inundación provocada por saturación de basura en la General Cañas ...	17
Figura 8.4. Conductores atrapados en inundación de autopista	17
Figura 8.5. Causa de inundaciones en Autopista General Cañas	18
Figura 9.1. Ciclo del agua	22
Figura 9.2. Hidrograma adimensional Sistema Conservación del Suelo (SCS)	39
Figura 9.3. Hidrograma adimensional continuo SCS	40
Figura 9.4. Componentes de un hidrograma	41
Figura 9.5. Hidrograma unitario triangular	42
Figura 10.1. Paso de agua frente a Industrias Lizano	51
Figura 11.1. Subcuenca Quebrada Seca, distribución por cantones	54
Figura 11.2. Puntos de Interés, Quebrada Seca	56
Figura 11.3. Diagrama triangular	59
Figura 11.4. Hidrograma adimensional, para un período de retorno de 10 años y una duración de precipitación de 20 minutos, teoría según Villón (2004)	61
Figura 11.5. Hidrograma adimensional, para un período de retorno de 10, 25 y 50 años y una duración de precipitación de 20 minutos, teoría según Villón	62
Figura 11.6. Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes para la Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío	64

Figura 11.7. Modelo digital de elevaciones Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío...	64
Figura 11.8. Perfil longitudinal de la Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío	65
Figura 11.9. Clasificación del uso del suelo	66
Figura 11.10. Equipo para levantamiento topográfico, DJI, Phantom 4 pro v2	69
Figura 11.11. Ubicación de las estaciones para las secciones transversales	69
Figura 11.12. Forma del perfil transversal estación 1049, 550 m aguas arriba de la alcantarilla	70
Figura 11.13. Proyección 537.19 y 501.06 de las secciones transversales antes y después de la alcantarilla	72
Figura 11.14. Forma del perfil transversal estación 537.19, delimitando el ancho de las llanuras de inundación	72
Figura 11.15. Perfil de la estación 537.19, punto más bajo del canal	74
Figura 11.16. Perfil de la estación 501.06, punto más bajo del canal	74
Figura 11.17. Vista superior de la alcantarilla triple existente	78
Figura 11.18. Ubicación de las alcantarillas en el cauce de la quebrada, situación actual.....	80
Figura 11.19. Corte transversal de las alcantarillas actuales, entrada y salida de la estructura	81
Figura 11.20. Hidrograma adimensional (QGIS) del modelado hidrológico y tabla de datos ingresados a HEC-RAS para el modelado hidráulico	82
Figura 11.21. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, sistema actual	82
Figura 11.22. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, estación 506.23	83
Figura 12.1. Sección transversal estación 537.19 modificada	85
Figura 12.2. Respuesta del modelado hidráulico modificada mediante HEC-RAS, para la estación 523.06, periodo de retorno de 10 años	86
Figura 12.3. Respuesta del modelado hidráulico modificada mediante HEC-RAS, para la estación 498.06	87
Figura 12.4. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la estación 510.56 modificada, con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años	87

Figura 12.5. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la estación 488.69 modificada con períodos de retorno de 10, 25 y 50 años	88
Figura 12.6. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la estación 506.06 con períodos de retorno de 50 años	89
Figura 12.7. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para el tramo en estudio, períodos de retorno de 10, 25 y 50 años	90
Figura 13.1. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, a) modelo actual, b) modelo propuesto	90
Figura 13.2. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para el tramo en estudio, a) modelo modificado, b) modelo actual	91
Figura 13.3. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06 del modelo actual	92
Figura 13.4. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la sección transversal 506.06 del modelo propuesto, con un periodo de retorno de 10 años.....	93
Figura 13.5. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06	94
Figura 13.6. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, perfil longitudinal del cauce	94
Figura 13.7. Respuesta del modelado hidráulico modificado mediante HEC-RAS, sección transversal 523.06, con la alcantarilla modificada	96
Figura 13.8. Respuesta del modelado hidráulico actual modificado mediante HEC-RAS, sección transversal 498.06, con la alcantarilla modificada	98
Figura 13.9. Respuesta del modelado hidráulico modificado mediante HEC-RAS, perfil longitudinal del cauce	98
Figura 14.1. Plano de la alcantarilla sugerida, modelo preliminar	100
Figura 14.2. Alcantarilla modificada, entrada del cauce modelo preliminar	100
Figura 14.3. Alcantarilla modificada, salida del cauce modelo preliminar	101
Figura 14.4. Alcantarilla modificada, sección transversal	101
Figura 14.5. Alcantarilla modificada, vista superior	102
Figura 14.6. Alcantarilla modificada, vista superior	102

Índice de Tablas

Tabla 9.1 Índice de compacidad de Gravelius	31
Tabla 9.2 Factores de forma de Horton	32
Tabla 9.3 Cobertura de desarrollo.....	34
Tabla 9.4 Densidad de drenaje	35
Tabla 9.5 Ecuación de intensidad del Dr. Wilhelm-Günther Varson	35
Tabla 9.6 Coeficiente de rugosidad de Manning	46
Tabla 9.7 Coeficiente de rugosidad de Manning para diferentes usos de suelo	47
Tabla 11.1 Tabla de resultados, memoria de cálculo	57
Tabla 11.2 Tabla de resultados, parámetros morfológicos de la subcuenca	58
Tabla 11.3 Pares ordenados de relevancia para diagrama triangular	58
Tabla 11.4 Datos para hidrograma adimensional, según Máximo Villón (2004)	60
Tabla 11.5 Datos para hidrograma adimensional, tres eventos con diferente período de retorno y una misma duración de precipitación	62
Tabla 11.6 Diferencial de altitudes y área correspondiente, datos tomados de la morfología de la cuenca por medio de QGIS y la memoria de cálculo de Microsoft Excel.....	63
Tabla 11.7 Clasificación del uso del suelo	67
Tabla 11.8. Clasificación del uso del suelo, SNIT (proyectada a futuro)	67
Tabla 11.9 Coeficientes de escorrentía	68
Tabla 11.10 Rango para radios de expansión	75
Tabla 11.11 Rango para radios de expansión, selección	75
Tabla 11.12 Rango para radios de compresión	77
Tabla 11.13 Rango para radios de compresión, selección	77
Tabla 13.1 Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para la sección transversal importantes y periodos de retorno variable.....	95
Tabla 13.2 Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para la sección transversal importantes y periodos de retorno de 50 años.....	97

Tabla 13.3. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para la sección transversal importantes y periodos de retorno de 10, 25 y 50 años	99
---	-----------

Resumen

El presente trabajo comprende un análisis sobre la problemática que se experimenta en la Quebrada Seca-Río Burío, especialmente cuando por el alto caudal se origina una situación de emergencia en algunos sectores vulnerables de la subcuenca, en donde se ha experimentado desbordamientos del cauce e inundaciones urbanas.

La cuenca tiene una forma alargada, con un área aproximada a los 23 km² en su totalidad, el cauce lo conforman principalmente lo que se conoce como la Quebrada Seca y el Río Burío. Este trabajo comprende el área delimitada por la línea parte de aguas y las curvas de nivel que van entre la altura de los 970 y los 1620 (m.s.n.m.), con un área de influencia de 21.7 km², lo comprende el cruce con la Autopista General Cañas y lo que comprende aguas arriba del cauce largo del Río Burío.

El uso de suelo de la cuenca es predominantemente urbano, aproximadamente un 65% del área se encuentra urbanizada, condición que favorece la escorrentía superficial por encima de la infiltración natural.

El sector que mayor aporta a la escorrentía superficial se localiza en el cantón de Barva y el cantón central de Heredia.

Según se indica en el estudio realizado por el Ing. Rafael Oreamuno Vega y el Ing. Roberto Villalobos Herrera, en su informe “Estudios hidrológicos e hidráulicos en la cuenca Quebrada Seca-Río Burío (2015)” modelado hidrológico establece que el cantón de central de Heredia es el que mayor volumen de escorrentía genera en la cuenca, entre un 34% y un 38% de la escorrentía total según el evento analizado, los cantones de San Rafael y Barva aportan aproximadamente un 21% del volumen de escorrentía de la cuenca mientras que Flores y Belén aportan la menor cantidad de escorrentía. Basándonos en este estudio y tomando como referencia el sector de análisis de este trabajo, se puede indicar que la mayor incidencia de la escorrentía se produce en el cantón de Heredia y el sector de Santa Lucía de Barva, sectores que se encuentran aguas arriba del punto de interés. A pesar de los esfuerzos que se ha realizado por los gobiernos locales, el cruce de la Quebrada Seca con la carretera General Canas, no ha experimentado modificaciones a lo largo de muchos años y es por hoy uno de los sectores con mayor riesgo de inundación, agravado por la topografía de la zona y por el alto impacto vehicular de la calzada.

1. Problema y Propósito

1.1. Estado actual del objeto de estudio

La autopista General Cañas, carretera N°1, que comunica a San José con la provincia de Alajuela, es una vía de alto tráfico vehicular y representa una de las rutas de mayor importancia a nivel nacional, sin embargo ha presentado en algunas ocasiones serios problemas de inundaciones, producto de los cambios de caudal que se originan en el trayecto del cauce, uno de los puntos más problemáticos se localiza en la intersección del cauce con la ruta nacional N°1, Autopista General Cañas, a la altura de Industrias Lizano.

El problema se ha presentado varias veces a lo largo del tiempo y no se ha logrado solucionar, las emergencias, cuando se atasca el cruce de agua mencionado.

La cuenca Quebrada Seca se ubica entre las provincias de Heredia y Alajuela y comprende de los cantones de San Rafael de Heredia, Barva, San Joaquín de Flores y Belén y Alajuela, en su recorrido ha presentado problemas de inundaciones en algunos puntos específicos, los cuales han requerido de la intervención de los gobiernos locales con la intención de disminuir los efectos que ocasiona el desbordamiento de las aguas. Estos esfuerzos para disminuir el impacto a lo largo de la cuenca han alterado el cauce natural y también con el aumento de los niveles de agua, especialmente con lluvias de alta intensidad han ocasionado el incremento de las inundaciones en los sectores de menor altura, de forma que cuando se modifica la cuenca para disminuir los efectos en los sectores altos, se da origen a otros problemas aguas abajo de la cuenca.

Este estudio buscará una propuesta para solucionar este gran problema en la obra constructiva actual de esa alcantarilla, tomando en consideración la rasante, las pendientes y el caudal que se genera en la Quebrada Seca, estudiar la morfología de la cuenca y realizar un estudio hidrológico, en un tramo antes y después de la alcantarilla.

1.2. Planteamiento del problema

El crecimiento urbanístico la deforestación, la contaminación de ríos y quebradas con desechos sólidos en algunos sectores del mundo es acelerado y en Costa Rica sucede algo similar, particularmente tenemos puntos donde la ocupación urbana ha llegado a límites de

saturación y al no existir un plan desarrollador eficiente y buenas prácticas en política de ocupación del espacio urbano se dificulta la formulación de medidas eficaces de prevención.

Es normal y casi una constante, escuchar que la causa principal que ocasiona las inundaciones responde al desorden urbanístico que se desarrolla en las comunidades, cuando los permisos de construcción de las edificaciones nos instan a cumplir en el mejor de los casos con un adecuado vertido de las aguas al sistema de alcantarillado más cercano, sin considerar el impacto del aumento del caudal máximo generado aguas abajo, de forma que quien impermeabiliza no sufre las consecuencias, se las hereda al resto de la población que se ubica aguas abajo. Por lo que si las municipalidades no controlan la urbanización o no invierten en la ampliación de los canales de drenaje la ocurrencia de crecidas urbanas aumenta y con ella también aumenta las pérdidas sociales y económicas para toda la comunidad.

Según lo manifestado anteriormente, las aguas de precipitación, a causa del agua no filtrada desde las partes altas, debe ser conducida hacia los cuerpos de agua de forma adecuada y eficiente, pero existen una serie de circunstancias que podrían derivar a que estos caudales precipitados no sean debidamente evacuadas, una de las principales deficiencias la constituyen los sistemas de desfogue, canales, tragantes o puentes, que no dan abasto y colapsan.

Este estudio busca determinar los principales factores que contribuyen para que este sector de la carretera sea afectado, entre ellos se puede mencionar que el nivel de la calzada, la pendiente del cauce, la separación de carriles en la vía (barrera New Jersey) y la escasa intervención del MOPT en este sector.

Otra circunstancia que favorece la inundación responde a la infraestructura deficiente de la alcantarilla, por su tamaño y forma, factores que contribuyen a la circulación poco eficiente de las aguas, especialmente cuando producto de la precipitación, vienen con escombros de maleza o de basura y que terminan por obstruir el paso del agua.

Cuando las alcantarillas presentan deficientes diseños y geometrías inconvenientes favorecen la acumulación de escombros en las entradas que fácilmente obstruyen la

circulación de las aguas, esto finalmente permite el acumulamiento y propician las inundaciones en las cercanías a las alcantarillas.

De aquí la importancia de este trabajo, ya que recientemente se inundó la carretera General Cañas, en el año 2008 y nuevamente en el año 2020 y ocasionó daños materiales a los vecinos y a los propietarios de los vehículos que quedaron atrapados por el exceso de agua acumulada.

La Quebrada Seca forma parte de la microcuenca que comprende un área importante en el Gran Área Metropolitana, involucra a los cantones de San Rafael, Heredia, Barva, Flores, Belén y Alajuela, el cauce lo surten las aguas de lo que se conoce territorialmente como la Quebrada Seca y las aguas del Río Burío.

Este estudio pretende poner en evidencia las deficiencias de las alcantarillas y de los drenajes en el punto de intersección del cauce de la quebrada y la autopista General Cañas, proponer mejoras para rediseñar las alcantarillas, de forma que se garantice que no se produzca nuevamente una inundación en este tramo de la autopista.

1.3. Importancia del problema

Este sector de la vía comunica la ciudad capital con la provincia de Alajuela, la cercanía con el Aeropuerto Juan Santa María y el Tobías Bolaños, así como la proximidad con los centros hospitalarios, convierten en este sector de la vía un punto de tránsito de altísima demanda, lo que finalmente se constituye en un punto vulnerable y que puede ocasionar daños serios a la propiedad y la vida, en caso de una inundación.

1.4. Ubicación

En la Figura 1.1, se aprecia el área de interés, corresponde a un sector importante de la cuenca completa de la Quebrada Seca y Río Burío, representa el área de cobertura delimitada por la división de aguas o su perímetro. En la realidad la cuenca completa comprende un área 23 km², la cual inicia de la cota 862 (m.s.n.m.) donde se une al Río Bermúdez, (coordenadas latitud 477376 y longitud 1102494 vista en Sistema Nacional de Información Topográfica, (SNIT), extendiéndose hasta las montañas de San Rafael de Heredia, de forma que la Quebrada Seca y el Río Burío forman parte de la Cordillera Volcánica Central y comprende parte de la red fluvial que drena el flanco sur del volcán Barva, forma parte de la cuenca del

río Virilla, el cual a su vez es parte de la cuenca del Río Grande de Tárcoles, que finalmente desemboca en el Océano Pacífico.

La cuenca Quebrada Seca-Río Burío posee precipitaciones anuales que oscilan entre 191 y 459 mm (Guzmán, 2013, p 48-52), los suelos que la conforman son del tipo inceptisoles, los cuales según el Ministerio de Agricultura y Ganadería se originaron del fenómeno de meteorización que experimentan los sedimentos aluviales, coluviales y coluvioluviales, son suelos que se caracterizan por presentar pocos problemas erosivos y aptos para la agricultura. (Guzmán, 2013, p 48-52).

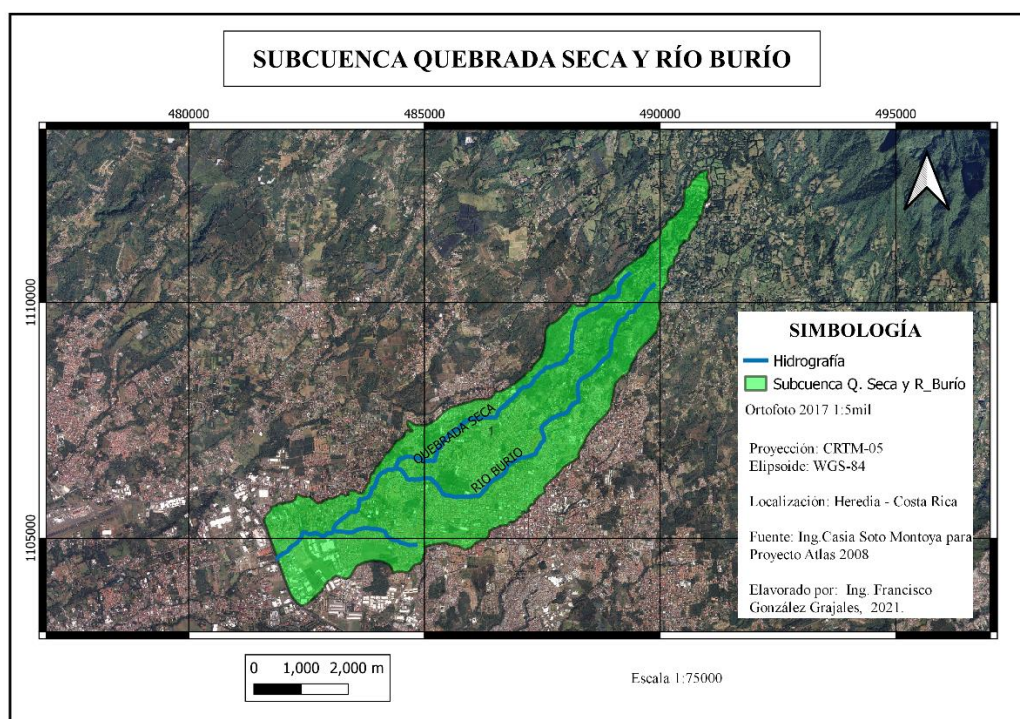


Figura 1.1. Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío, área de interés e hidrografía.

Fuente: Propia.

La subcuenca (Figura 1.2.) se distribuye en varios cantones de la provincia de Heredia, comprende parte de San Rafael, Barva, San Joaquín de Flores y el un sector del cantón central de la provincia, inicia en la intersección entre el cauce de la quebrada y la Autopista General Cañas, a una altura de 670 m.s.n.m., justamente en el punto donde se ubica la alcantarilla que da origen a este análisis, coordenadas latitud 481897 y longitud 1104510 y se extiende hasta la altura de los 1620 m.s.n.m.

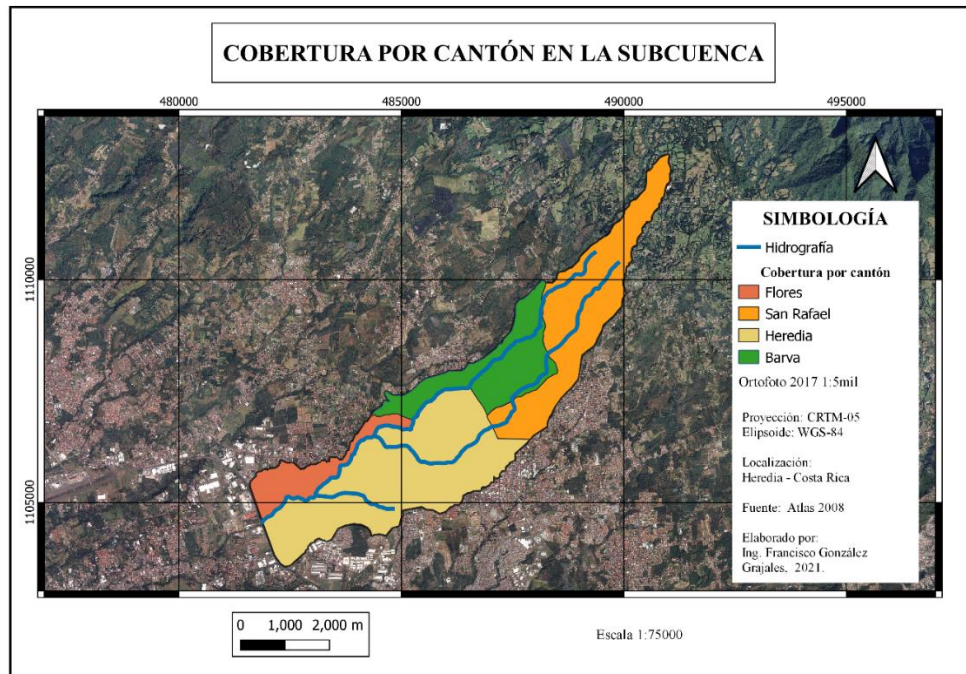


Figura 1.2. División administrativa (cantones) involucrados en el sector de la subcuenca.
Fuente: Propia.

1.5. Punto de interés y punto de aforo

El punto de interés está conformado por una estructura de concreto, con dos divisiones internas que forman tres compartimientos, por donde pasa el agua del cauce, sobre la estructura se encuentra unas mallas de gaviones y sobre esta la capa de cemento asfáltico. El cauce principal de la subcuenca cruza justamente la autopista General Cañas, este corresponde al punto de interés y 500 metros aguas arriba se ubica el punto de aforo. Como se ha mencionado, la alcantarilla representa el punto de interés, aguas arriba y aguas abajo se ubicará dos puntos de control, entre los tres puntos se define el sector para el análisis del flujo por medio de un modelo hidráulico, Figura 1.3.

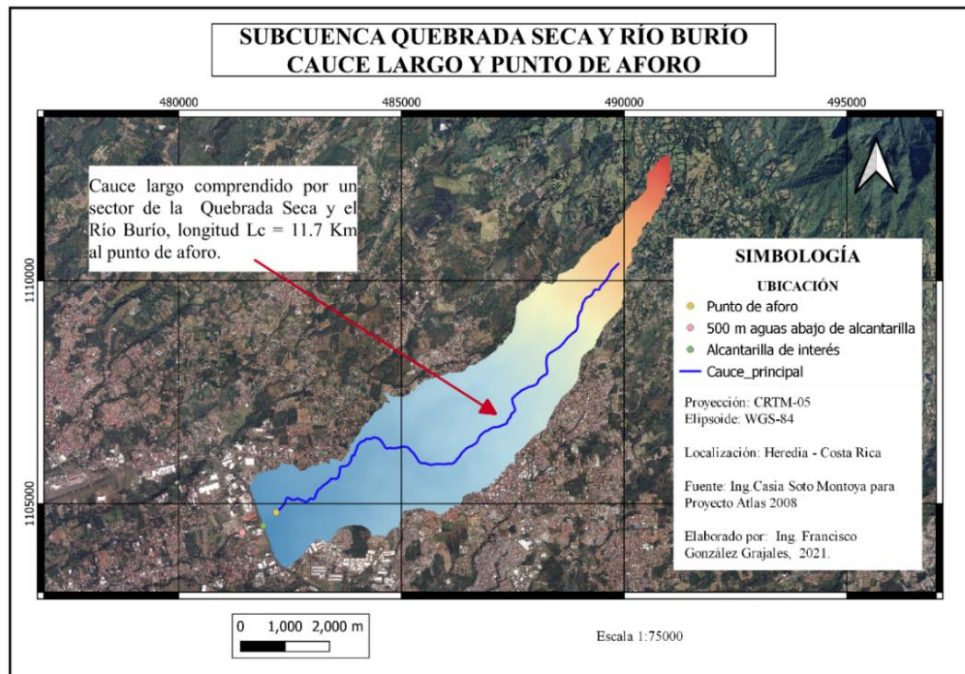


Figura 1.3. Punto de interés, punto de aforo y cauce principal.

Fuente: Propia, asistido por (Google Earth Pro, SNIT y QGIS)

El punto de interés Figura 1.3, se localiza a la altura aproximada a los 970 m.s.n.m., en las coordenadas latitud 481897 y longitud 1104510, forma parte del perímetro de la subcuenca y se extiende aproximadamente a una altura de los 2000 m.s.n.m., imagen asistida por medio de Google, SNIT y el software QGIS, alimentada con la base de datos del Atlas 2008 (con actualizaciones del 2014), en la figura se observa el área de cobertura, el perímetro y la hidrografía correspondiente a este sector de la cuenca, además una distribución de colores que representa al modelo digital de elevaciones, el cual analizaremos posteriormente.

Un trazo equivalente de esta área se observa en la Figura 1.4, confecciona por medio de Autocad y con las hojas cartográficas de Setillal, Salitral, La Hoja, Uriche y Turales, conformando un área de 18.8 km² y perímetro de 26.7 km.

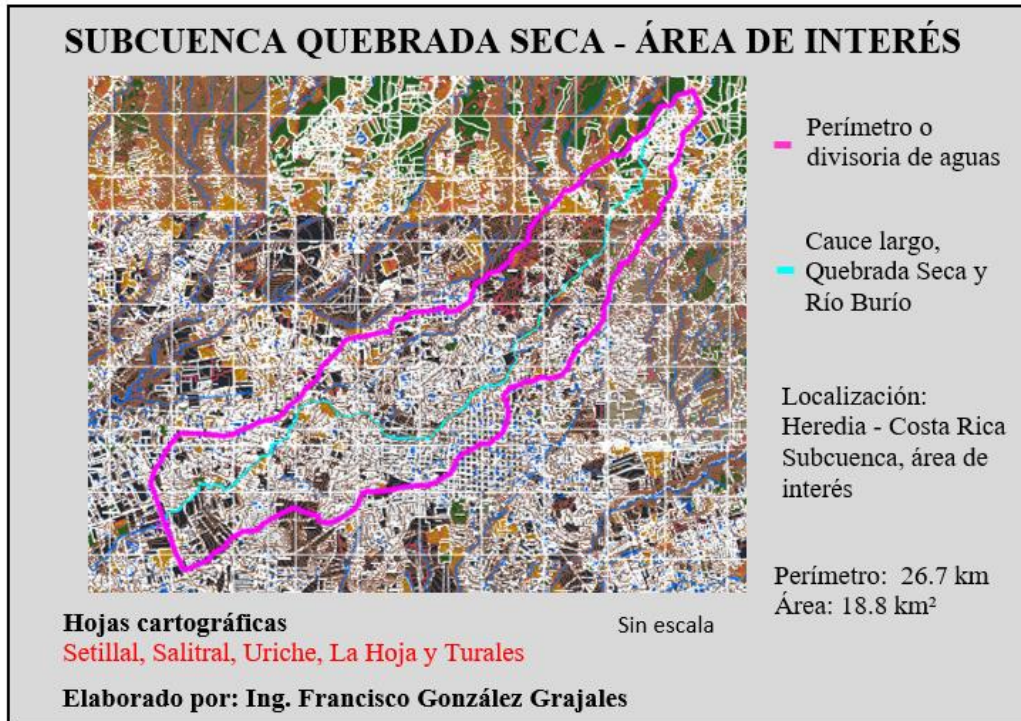


Figura 1.4. Sub cuenca Quebrada Seca y Río Burío.

Fuente: Propia, asistido por Autocad (2020).

La Figura 1.4, se realizó tomando las hojas cartográficas mencionadas, escalándolas en autocad y delimitando la cuenca mediante las curvas de nivel, el trazo de la línea parte de aguas corresponde a una polilínea, la cual corta perpendicularmente cada curva de nivel en el punto de la división de aguas. Este método es apropiado cuando no se tiene información digitalizada del área en estudio y la única fuente de información corresponde a las hojas cartográficas, para este proyecto se toma como un método ilustrativo y los datos generados no se utilizarán en el análisis posterior.

2. Antecedentes

2.1. Problema reincidente

Este problema de inundaciones en este paso de agua no es nuevo, durante muchos años se ha experimentado inundaciones en este punto de la carretera, que han puesto en serios apuros a los conductores y peatones que se encuentran en el sitio, justamente en el momento de la emergencia. La más reciente inundación se originó en el año 2020, pero ya en otras ocasiones ha experimentado problemas por la misma causa como la que aconteció en el año 2008, cuando se inundó completamente la carretera en el sentido San José - Alajuela.

La emergencia más reciente de colapso en la vía, fue en el tramo de carretera sobre la ruta nacional 1, sentido Alajuela-San José, específicamente frente a la fábrica de Industrias Lizano, presentó una inundación extrema, afectando la zona aledaña, provocando un desbordamiento que alcanzó los vehículos los cuales quedaron atrapados por el exceso de agua que se acumuló en la carretera.

Esta inundación se produjo el martes 29 de setiembre de 2020, al ser las 2:25 pm, en el cantón de Belén, frente a la fábrica Lizano y ocasionada principalmente por la obstrucción de la alcantarilla principal, ubicada ese ese sector de la vía. La emergencia por inundación se manifestó en ambos sentidos, pero la obstrucción total se manifestó el sentido San José-Alajuela, afectando principalmente ese sector de la calzada. Consecuencia directa de la emergencia fue afectaciones a la industria aledaña, a los vehículos que quedaron prácticamente sumergidos y los conductores por la cantidad de agua acumulada, debieron resguardarse en la separación tipo “New Jersey” de concreto que divide ambas vías y en general, se ocasiona un fuerte impacto en todas las vías alternas, eso sin dejar de mencionar que ese sentido comunica la capital con el Aeropuerto Juan Santa María y la provincia de Alajuela, Puntarenas, Heredia y Guanacaste.

2.2. Favorecimiento del problema

La Quebrada Seca es una cuenca que se extiende en la provincia de Heredia y una pequeña parte de Alajuela, pasando por los cantones de San Rafael de Heredia, Heredia, Barva, San Joaquín y Belén antes de llegar a Alajuela, en su trayecto atraviesa en varios puntos las calles de circulación vehicular y es aquí donde principalmente ha ocasionado problemas por concepto de desbordamientos e inundaciones. Esto ha obligado los gobiernos locales a reestructurar puentes y hasta alterar el cauce natural del río para disminuir el riesgo de inundación, además proponer alternativas que tiendan a disminuir el impacto, especialmente al control de desechos y fomentando el reciclaje y promoviendo reformas para un adecuado uso del suelo.

Tal como se ha mencionado, son muchos los factores que pueden propiciar este tipo de emergencia y en general mientras se intenta disminuir unos, existen otros que se aumentan y por lo tanto el riesgo permanece siempre, especialmente en donde aún no se afecta la infraestructura, justamente la razón para realizar este trabajo.

3. Enunciado del problema

¿Qué cambios o modificaciones se debe realizar en la Autopista General Cañas, para evitar que las aguas de la Quebrada Seca provoquen una nueva inundación de la carretera a la altura de Industrias Lizano?

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Analizar eficientemente la morfología mediante un modelo hidrológico e hidráulico de la subcuenca, para determinar las modificaciones estructurales a fin de prevenir que se origine una inundación en la alcantarilla.

Objetivos Específicos

- 4.1.1.** Realizar los estudios preliminares, tanto de la quebrada como de los alrededores de la zona en estudio, para determinar las condiciones actuales del área.
- 4.1.2.** Analizar un kilómetro de cauce, para determinar el comportamiento hidráulico del caudal 500 m aguas arriba y 500 m aguas debajo de la alcantarilla.
- 4.1.3.** Sugerir propuestas y modificaciones, que se pueden implementan para disminuir el impacto que ocasiona la inundación en ese sector de la quebrada.
- 4.1.4.** Prediseñar el modelo arquitectónico de la alcantarilla de forma que garantice el paso del flujo máximo probable en una eventual crecida del caudal.
- 4.1.5.** Alertar sobre la urgencia que representa el estado actual de la alcantarilla, de forma que se tome conciencia del peligro constante de este paso de agua.

5. Alcances de la investigación

El alcance principal de esta investigación es identificar la causa principal que provoca el desbordamiento y la inminente inundación, además de proponer una serie de mejoras en el sistema hidráulico actual, complementado con el rediseño propuesto en el paso de agua, de forma que se pueda garantizar que no se presentará una inundación en la zona, especialmente interviniendo aspectos de mantenimiento preventivo en el cauce de la quebrada y modificando la cantidad y la geometría de los sistemas que se encargan de transportar el caudal en este punto geográfico.

6. Limitaciones de la investigación

- La limitación principal es no contar con datos hidrológicos de la zona, una base de datos en tiempo real de caudal y niveles de precipitación por hora, así como un mapa de inundación, se buscará obtener la información correspondiente por medio de las instituciones que oficialmente monitorean y almacenan la información, por ejemplo, datos del Sistema Nacional de Información Topográfica (SNIT) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- No contamos con los planos de las modificaciones que el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) pretende implementar en el área de la emergencia, no sabemos si existe un plan para modificar esa infraestructura y el alcance que comprende, pero sabemos que es una ruta que se está interviniendo como parte de la ampliación de San José, San Ramón y que forma parte de un fideicomiso con el Banco de Costa Rica y el MOPT.
- No se incluye el diseño ni la memoria de cálculo estructural de la solución a implementar, solamente se mencionará el tipo de alcantarilla o puente con algunas indicaciones de índole general y se presentará una vista del acabado en que podría consistir, sin profundizar en el diseño propuesto.
- Se excluye del análisis hidráulica, la contribución de las corrientes subterráneas que intervienen de forma directa con las escorrentías superficiales y los desbordamientos que provocan las inundaciones, debido a que no se cuenta con el mapa y datos correspondientes.

7. Justificación

Las inundaciones realmente generan serios problemas, algunos con mayores consecuencias que otros, pero cuando el sector afectado es de alto tránsito o se encuentra ubicado en zona residencial, comercial o industrial, con peatones y con flujo vehicular constante, las consecuencias de una inundación por pequeñas que fueran, podrían tener resultados negativos muy desfavorables.

Tal como se aprecia en la Figura 7.1, cuando el caudal de la cuenca, alcanza niveles elevados, producto de la precipitación, arrastrando escombros, sedimentos y basura, se crea una acumulación de sólidos que no circula de forma adecuada por los sistemas de

canalizaciones diseñados para tal fin, llegando incluso a atascar los pasos de agua bajo la carretera.



Figura 7.1. Foto de la Autopista General Cañas, completamente inundada por las lluvias.
Fuente: (Meza, A., 2020).

Esta es una de las principales causas que provoca las inundaciones en la Autopista General Cañas, porque se obstruye el paso de agua y el volumen de caudal se acumula rápidamente, formando una especie de embalse, el agua sube de forma repentina al punto de que sobrepasa la calzada, favorecido por la topografía del sector (que forma una figura cóncava hacia arriba), curvatura propicia para retener la acumulación de agua en el tramo de la vía. Al subir el nivel de agua en la vía, obliga a detener el tránsito, dejando atrapados a los vehículos que circulan por la carretera, además la vía cuenta con una separación de concreto que no permite un giro en sentido inverso, lo que finalmente ocasiona que los vehículos terminen inundados.

Consecuentemente se presenta daños en los automotores y la carga que transportan, se provoca un paro total de la circulación tanto de vehículos como peatones, el primer sentido afectado es el de San José-Alajuela y posteriormente en ambos se colapsan, generando congestión vehicular directa e indirecta, ya que también afecta las rutas que confluyen a esta carretera. La inundación que se presentó en octubre del 2017, no produjo pérdidas humanas que lamentar, pero fue cuestión de suerte, porque pudo haber peatones, autobuses, ambulancias, niños escolares, personas con alguna discapacidad que no les permitiera salir

rápido de sus autos y bajo algunas circunstancias las consecuencias podrían haber sido fatales.

8. Actualidad del problema

Esta problemática se acrecienta constantemente por el incremento en la población y las obras de infraestructura de la zona, existen modificaciones realizadas por las municipalidades de San Rafael de Heredia, Barva, San Joaquín y Belén, que han contribuido a mejorar el cauce en un sector importante de la quebrada, sin embargo, el MOPT aún no toma medidas respecto a la intervención en ese punto de importancia, ubicado en una ruta nacional y es únicamente responsabilidad del MOPT velar por un funcionamiento adecuado, no solo de la vía sino de la alcantarilla, que se ubica debajo de la calzada.

Los cambios o mejoras que se realizan aguas arriba hacen aún más serio el problema, ya que esas alteraciones estimulan el aumento de caudal y con este el incremento de escombros y desechos que pueden atacar la alcantarilla con mayor frecuencia.

Así las cosas, el progreso no siempre trae condiciones favorables, puede también generar y agudizar problemas, la construcción de obra gris generalmente trae consecuencias desfavorables respecto a las escorrentías que deben ser analizadas por profesionales, para tratar de disminuir sus impactos.

El crecimiento urbano, aumenta el nivel del caudal que se desfoga a la cuenca, las lluvias de alta intensidad también aumentan los niveles de las aguas y pueden propiciar condiciones de riesgo respecto de desbordamientos e inundaciones, además del escaso mantenimiento de los sistemas de alcantarillado, muchas veces mal diseñados o con poco mantenimiento por ausencia de recursos económicos municipales, convierten este problema en un tema de alta importancia y que nos insta a dedicarle este trabajo de investigación y propuesta ingenieril. Se tratará de brindar una propuesta para solventar el problema tratando de optimizar la inversión futura en este sector tan vulnerable de la calzada.

8.1. Importancia de la solución

Esta autopista está entre las más importantes de nuestro país, comunica a San José con Alajuela, es altamente transitada, está próxima al Hospital México en un sentido y en el otro al Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, con varios carriles de ruedo en ambos sentidos

y apta para circular a alta velocidad, por lo que cualquier accidente u obstrucción que afecte el flujo vehicular, rápidamente ocasionará un caos vial de altas proporciones. En este sentido, una inundación, será una causa inminente para generar una emergencia, no solo porque detendrá la circulación normal del tránsito, sino porque fácilmente podría cobrar vidas humanas y daños a la propiedad de alto valor económico.

8.2. Beneficiados

Los principales beneficiados serían el sector industrial y las comunidades aguas abajo, además de los peatones y los automotores que diariamente transitan por esta carretera, quizás la más importante de Costa Rica debido a que comunica la Ciudad Capital con la provincia de Alajuela, considerada la más importante de Costa Rica. Esta inundación afecta el punto de la emergencia, pero involucra también a otras partes del territorio nacional que se comunican hacia este sector, la Quebrada Seca comprende un sector importante de la zona terrestre, involucrando a las municipalidades de los cantones Belén, Santa Ana, Barva, Heredia, San Joaquín y de Alajuela.

Además, se verá el beneficio directo para algunos de los Ministerios de Costa Rica, mencionados a continuación. Primeramente, el Ministerio de Salud, ya que las inundaciones son foco de infecciones y de enfermedades, además de minimizar la proliferación de plagas como insectos, perjudicial para la salud. Otro Ministerio beneficiado es el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), ya que parte de los daños se originan en la ruta nacional 1, jurisprudencia de este; además, porque la inundación afecta el libre tránsito y en consecuencia, se incomunica el transporte público, afectando a la comunicación y el traslado de ciudadanos que viajan a sus viviendas, centros de estudio, de trabajo, e incluso a quienes viajan fuera del país. También, el Ministerio de Comercio, ya que por esta vía circula gran parte de la mercadería que se consume en el Valle Central y que se distribuye a todo el país. Adicionalmente, el Ministerio de Turismo, porque estas emergencias detienen el tránsito por muchas horas y ocasionan el colapso de una carretera que comunica al principal aeropuerto de Costa Rica, el aeropuerto Juan Santa María.

8.3. Síntesis del problema

La finalidad de los pasos de agua es garantizar que las corrientes producto de la precipitación de lluvia, así como la acumulación de desechos sólidos o naturales que se vierten en los

cauces de los ríos, puedan transportarse sin obstruir las entradas de los sistemas de alcantarillado, la acumulación de desechos sólidos en las entradas de los sistemas, hacen que se detenga el flujo normal de los cauces y con ello en pocos minutos se de origen a inundaciones, lo que desencadena a su vez en una verdadera emergencia, que colapsa la vía y pone en riesgo a todas las personas que transitan por la misma.

El paso de agua se localiza sobre la calzada de la autopista General Cañas, que comunica la ciudad capital con la provincia de Alajuela, específicamente frente a Industrias Lizano, tal como se aprecia en la Figura 8.6.

El crecimiento urbano, ocasiona la impermeabilización de los suelos, el poco mantenimiento a los márgenes de los ríos, que contribuye a la acumulación de sólidos, no tener identificados los pasos angostos de las quebradas, pueden convertirse en basureros flotantes, tal como se observa en la Figura 8.1 y Figura 8.2.



Figura 8.1. Peatones y automóviles atrapados por inundación en Autopista General Cañas.
Fuente: (NCR Noticias, 2020).

Este problema es muy serio, no es reciente y afecta a muchos ciudadanos de forma directa e indirecta, cuando conductores y peatones se debieron resguardar en la barrera de separación de la vía, exponiéndose claramente a sufrir accidentes.



Figura 8.2. Foto de la Autopista General Cañas, completamente inundada por las lluvias, daños en vehículos.

Fuente: (Alfaro, J., 2020).

Tal como se aprecia en la Figura 8.3, la inundación ocurre frente a las instalaciones de la Fábrica Lizano, del 29 de setiembre de 2020, al ser las 2:45 pm, según las declaraciones de personeros del Benemérito Cuerpo de Bomberos realizadas al periodista Josué Alfaro, del medio informativo de Amelia Rueda, bomberos reportó acumulación de desechos sólidos, caída de objetos y 7 personas afectadas, sin heridos, ameritó el desplazamiento de una unidad extintora.

En la Figura 8.3, se puede apreciar el nivel del agua cuando se empieza a desbordar por la separación de concreto, que divide los sentidos de la vía, la imagen es elocuente y nos da una idea general de la magnitud de esta emergencia.

La topografía favorece que se genere este comportamiento del cauce, una vez se atasca la alcantarilla el nivel sube rápidamente y se descarga hacia la margen izquierda, buscando la parte más baja y luego se introduce en la carretera, la cual forma un pequeño embalse y cuando se llena se desborda por encima de la barrera New Jersey.



Figura 8.3. Inundación provocada por saturación de basura en la General Cañas.
Fuente: (Meléndez, A., 2020).

La situación vista desde otro ángulo, se aprecia en la Figura 8.4, varios los vehículos atrapados y en tan solo unos minutos la situación tomó magnitudes impresionantes.



Figura 8.4. Conductores atrapados en inundación de autopista.
Fuente: (Solano, H., 2020).

La causa principal que da origen a esta situación se ubica justamente debajo de la calzada, donde se encuentra un paso de agua que en apariencia se bloqueó por una excesiva cantidad de maleza y basura, arrastrada con la fuerza del cauce, el cual se elevó producto de las fuertes lluvias, tal como se aprecia en la Figura 8.5, esta estructura de paso de agua en forma de cuadros, se ubica frente a la empresa Lizano, empresa que sufrió serios daños.

La imagen fue facilitada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) a la empresa de Canal 7, en ella se pone de manifiesto unos de los principales problemas que propició la inundación, la obstrucción de la alcantarilla se debió al exceso de maleza y de desechos sólidos.



Figura 8.5. Causa de inundaciones en Autopista General Cañas.
Fuente: (Peña, S, 2020).

9. Fundamentación teórica

9.1. Marco Teórico-Conceptual y Técnico-Referencial

9.1.1. Marco Legal.

- 9.1.1.1. Reglamento de Construcciones – INVU.
- 9.1.1.2. Reglamento de Consultoría - CFIA.
- 9.1.1.3. Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (2017).
- 9.1.1.4. Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017).

9.1.1.5. Manual de consideraciones técnicas hidráulicas e hidrológicas para la infraestructura vial en Centroamérica (2016).

9.1.1.6. Sistema Nacional de Información Territorial SNIT.

9.1.2. Conceptos hidráulicos e hidrológicos.

“La hidrología versa sobre el agua de la tierra, su existencia y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la tierra”. Ray K. Linisley (1977) Hidrología para Ingenieros.

El ser humano ha experimentado consecuencias desfavorables producto de los comportamientos del agua, aspectos que, a lo largo del tiempo, lo han obligado a desarrollar técnicas de aprovechamiento, conducción y almacenamiento del recurso hídrico y con ello dar origen a los primeros modelos de la ingeniería hidráulica, apoyado en gran medida de otras áreas de la ingeniería. La ingeniería hidráulica ha permitido la implementación de grandes obras de infraestructura, como represas hidroeléctricas, embalses para riego, canales abiertos y subterráneos para la agricultura y para el consumo humano mediante la potabilización y distribución del fluido. El estudio del agua como fuente indispensable para la vida, nos ha llevado a lo largo del tiempo a creencias y aseveraciones que son desmentidas con el transcurrir de los años, una de ellas y que por mucho tiempo se creyó era que el agua de los océanos era la fuente final de toda el agua, también por mucho tiempo se impulsó la falsa creencia que el aguas de los océanos se transportaba hacia los volcanes y producto de las altas temperaturas en los volcanes se desalinizaba, ascendía en forma de vapor, para luego condensarse en las montañas y crear así los ríos, muchas de estas teorías son en la actualidad desmentidas por los avances de la información y del conocimiento que hoy en día contamos. Pero a lo largo de la historia estas teorías eran la única explicación y se crearon para tratar de comprender el comportamiento del agua, considerada desde todos los tiempos, como fuente de vida, incluso hasta hace muy poco, hacernos creer que el agua era un recurso inagotable.

Según se menciona en el libro de Hidrología para Ingenieros, el primero en dar una idea aceptable, respecto a las precipitaciones fue Marcos Vitruvio Pollio (100 A.C. aproximadamente), posteriormente casi 1500 años después Leonardo da Vinci (1452-1519) es el segundo en sugerir una explicación para lo que hoy se conoce como el ciclo hidrológico,

otras contribuciones de Pierre Perrault (1608-1680) con las mediciones de lluvia y las descargas sobre el Río Sena, formulando una teoría que argumentaba que la escorrentía era aproximadamente la sexta parte de la precipitación, de igual forma el astrónomo inglés Halley (1656-1742) realizó otros experimentos acerca del tema, estudios iniciales, teorías cuestionadas y reformuladas, para replantear otras nuevas teorías, contribuciones que han ayudado a comprender y establecer con más criterio el fenómeno del ciclo del agua, la cual tiene un avance significativo a principios del siglo pasado, cuando investigadores como Horton, Mead y Sherman (1930) impulsaron las investigaciones e hicieron grandes aportes, que permitieron conceptualizar la ingeniería hidráulica tal como se conoce hoy en día.

La humanidad actual fácilmente comprende que el agua puede ser utilizada de muchas formas y así lo pone de manifiesto con los avances de la tecnología, las obras de ingeniería realizadas a lo largo del tiempo y las formas inventadas para aprovechar y cuidar el líquido, permiten actualizar comprender mejor el comportamiento y formas de tratar el recurso hídrico. Sin embargo, para los primeros seres humanos esto no debió ser una tarea sencilla, ya que ellos debieron comprender de forma casi obligatoria y urgente, aspectos del comportamiento del fluido, buscando primero cómo protegerse de todos los daños que les ocasionaba y segundo como una forma de aprovecharla, porque experimentaron que el fluido también es fuente de vida, de manera que debieron idear mecanismos para almacenarla, transportarla y utilizarla especialmente cuando les era escasa.

Nuestro país, por su ubicación geográfica se encuentra sujeto a fenómenos naturales que afectan normalmente las laderas y las cuencas hidrográficas, muchas veces producto de sismos, erupciones de volcanes o excesivas lluvias, que provocan deslizamientos y con excesiva lluvia, en muchas ocasiones por el fenómeno de transporte de suelo, llegan a los ríos y quebradas, continuando aguas abajo y convirtiéndose en una seria amenaza para la población. Especialmente cuando de precipitaciones se trata, en la estación lluviosa, el agua en los ríos o quebradas se convierte en el principal causante de las emergencias, contribuyendo al desbordamiento en puentes, deterioro de carreteras, pérdida de la agricultura y afectando incluso la vida de seres vivos como plantas, animales y al ser humano.

Los deslizamientos se pueden definir como el movimiento del material superficial de la corteza terrestre (suelo, roca u otros materiales) pendiente abajo, que experimenta

agrietamiento y las infiltraciones de agua estimulan la pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio, obligándolo a moverse y alojarse pendiente abajo. En Costa Rica, por su geografía se presentan deslizamientos en prácticamente todo el territorio nacional, causados principalmente por lluvias, por la actividad de los volcanes, por sismos o por la deforestación que debilita los suelos, generando movimientos del mismo, que pueden deslizarse a los cauces de los ríos, constituyendo una amenaza que dependiendo de la magnitud pueden cambiar las condiciones normales de los ríos y de las quebradas en cuestión de minutos.

Otro factor para considerar es que algunos ríos y quebradas tienen extensiones que comprenden muchas hectáreas de terreno en zonas de alto nivel urbanístico, esto aumenta el nivel del cauce por desfogue, el cual aumenta con las lluvias y podría convertirse en amenazas serias para el medio ambiente y para la ciudadanía.

Algunos de los aspectos anteriormente mencionados responden a un equilibrio geológico natural, otros como la deforestación y la contaminación por desechos sólidos, forman parte de otros factores de tipo antrópicos (consecuencia humana) como el urbanismo, generación energética, la agricultura, caminos, carreteras y explotaciones de suelos (tajos), factores que además se podrían complementarse con deficientes sistemas de canalización y de evacuación de aguas, condiciones que favorecen el incremento de inundaciones y aumentan el riesgo de daños a causa de estas circunstancias.

Las inundaciones se pueden definir como la incursión o desborde del agua sobre zonas donde normalmente no deben almacenar acumulaciones de agua o áreas que en condiciones normales se encuentran secas.

El ciclo hidrológico tal como lo percibimos hoy no tiene ni principio ni fin, de forma que el proceso y las etapas que lo conforman se originan continuamente y en todas sus etapas simultáneamente.



Figura 9.1. Ciclo del agua.
Fuente: (U.S. Geological Survey, 2021).

En la Figura 9.1, se representa esquemáticamente la secuencia del proceso natural del agua, se observa cómo el agua superficial de los mares, ríos y lagos se evapora y sube a la atmósfera para luego enfriarse, condensarse y precipitarse posteriormente sobre la superficie terrestre y ríos, lagos y océanos, esto se constituye un fenómeno meteorológico conocido como precipitación, que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo, además forma parte del ciclo hidrológico tal como se muestra en la figura 10.

El porcentaje de la precipitación pluvial que se transporta a una quebrada, río y lago, que finalmente llega al mar, se conoce como escorrentía y es una cantidad de agua que viajará hacia el mar, por un trayecto, el cual presenta particularidades que cumplen con condiciones no controladas, en otras palabras según lo manifiesta Ray K. Linisley, “El camino seguido por una gota de agua desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente es incierto.”, según la Figura 9.1 se podría establecer tres posibles caminos, para la escorrentía, a saber: escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea. La cantidad de agua que se transporta superficial corresponde al volumen de agua que viaja sobre la tierra es la que finalmente podría propiciar condiciones de inundación y desbordamientos en puentes y alcantarillas.

Como ya se mencionó, existen factores naturales y otros, producto de la participación humana que influyen en la ocurrencia de las inundaciones, algunos de los cuales se estudiarán de manera más detallada, iniciando por los fenómenos naturales y luego se verá los fenómenos antrópicos de mayor importancia.

9.2 Terminología y definiciones importantes

A continuación, se presentan una serie de conceptos e información de suma importancia para la comprensión de este trabajo. Estos involucran temáticas de hidrología, estudio de caudales, estudio de zonas de cuencas hidrográficas, y canalizaciones para evacuación de aguas precipitadas hacia las quebradas y márgenes de los ríos.

9.2.1 Hidrología. “La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”. Villón (2202).

9.2.2 Hidrometeoro. Es un concepto que relaciona las partículas de agua líquida o sólida (lluvia o granizo) que se suspenden en la atmósfera, dependiendo de sus niveles de concentración se precipitar a través de ella y llegan a la superficie terrestre, pueden infiltrarse o ser arrastradas por el viento de un lugar a otro, las partículas que se acumulan como por ejemplo la nieve o el agua depositadas sobre el suelo no se consideran un hidrometeoro y las partículas que son transportadas superficialmente dan origen al concepto de escorrentía.

9.2.3 Escorrentía. Corresponde a la corriente de agua de lluvia que circula sobre la superficie de la tierra y se transporta de un lugar a otro por causa de la pendiente del medio superficial, no forma parte de ella las aguas estancadas y las aguas infiltradas, sin embargo, es parte importante junto con esta otras del comportamiento del ciclo del agua, particularmente para este proyecto es una de las variables fundamentales del estudio.

9.2.4 Hidrograma. Es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de algún parámetro hidrológico, como el nivel de agua, caudal y carga sedimentada, entre otros.

9.2.5 Hidrograma unitario. Según Villón, el hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso

unitaria, repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un periodo específico de tiempo.

Hipótesis base de un hidrograma unitario, mencionadas por Máximo Villón (2006) y referencia a Sherman en 1932, el cual considera que:

- a) Distribución uniforme: La precipitación en exceso, tiene una distribución uniforme sobre la superficie de la cuenca y en toda su duración.
- b) Tiempo de base constante: Para una cuenca dada, la duración total de escurrimiento directo o tiempo base es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, independiente del volumen total escurrido.
- c) Linealidad o proporcionalidad: Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, es decir, al volumen total de lluvia efectiva.
- d) Superposición de causa y efecto: El hidrograma que resulta de un periodo de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de periodos lluviosos precedentes.

9.2.6 Área metropolitana. Es el conjunto de áreas urbanas correspondientes a distintas jurisdicciones municipales (gobiernos locales) y que, al desarrollarse en torno a un centro principal de población, funciona como una sola unidad urbana. Fuente Norma Técnica A y A (2017).

El nivel de área urbana influye fuertemente en el aumento del caudal de precipitación y es una de las principales causas de las inundaciones de las quebradas y de los ríos.

9.2.7 Periodo de diseño. Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, durante el cual se tendrá la capacidad requerida para atender la demanda proyectada al final de dicho período. Fuente Norma Técnica A y A (2017).

9.2.8 Desarrollo urbanístico. Proyecto de infraestructura con fines urbanos, construida en apertura de espacios (fraccionamientos, urbanizaciones, condominios, centros comerciales, torres de viviendas u oficinas, entre otras infraestructuras), donde existirán servicios de: agua potable, recolección de desechos, tratamiento y

disposición de aguas residuales y de recolección y disposición de aguas pluviales. Fuente Norma Técnica A y A (2017).

9.2.9 Sistema pluvial. Es el conjunto de líneas de tuberías o conductos (abiertos o cerrados) y obras accesorias que conducen las aguas provenientes de las precipitaciones (aguas de lluvia) hacia lugares naturales de disposición. Fuente Norma Técnica A y A (2017).

Los sistemas de alcantarillado pluvial tienen diversas clasificaciones según su función.

9.2.10 Estructuras de captación. Estas son sistemas de recolección usualmente construidos para encausar las aguas de precipitación hacia puntos estratégicos o de control, formados principalmente por los cordones de caño en las carreteras y que recolectan las aguas a transportar, llevando desde su ingreso hasta los tragantes o alcantarillas.

9.2.11 Alcantarilla. Es un conducto subterráneo para conducir aguas residuales o pluviales.

9.2.12 Aletón. Es el muro lateral de concreto reforzado capaz de soportar la estructura central del cabezal y a la vez funciona como muro de retención para estabilizar los terraplenes laterales a la estructura del cabezal.

9.2.13 Estructuras de conducción. Estas constituyen los medios de transporte de las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia sitios de tratamiento o vertido, pueden ser estructuras abiertas o cerradas, conocidas como tuberías o canales a cielo abierto, dependiendo de la necesidad o requerimiento podría la conducción constituirse en un híbrido entre ambos sistemas.

9.2.14 Estructuras de conexión y mantenimiento. Estas son estructuras de acopio de las aguas que se transportan por medio de las estructuras de conducción, se construyen de forma que permitan la inspección y el mantenimiento de los sistemas alcantarillados, pueden ser alcantarillas de un tamaño pequeño o bien constituirse en pozos pluviales de mayor tamaño.

9.2.15 Disposición final. Es el sistema final de conducción a la quebrada o río, pudiendo ser canalizado por medio de tuberías subterráneas, canales abiertos o bien por el propio terreno y los múltiples canales naturales que darán forma al caudal definitivo.

9.2.16 Estructuras complementarias. estas estructuras usualmente construidas para disminuir el impacto de las precipitaciones en zonas urbanas, se conocen como

tanques de captación o lagunas de retardo, usualmente construidas con base en el cálculo del caudal de escorrentía generado por causa de la urbanización y cambio de uso del suelo, responde a un estudio que se realiza en algunos proyectos donde la municipalidad local regula la cantidad de agua que se dispone en los sistemas de alcantarillado y tiene como principal objetivo, retardar en el tiempo el aumento súbito del caudal en los primeros minutos de lluvia. Existe varios medios de conducción de estas aguas acumuladas, usualmente se transportan por gravedad, pero también podría requerirse bombeo para impulsarlas desde un punto a otro, finalmente estas aguas deberán de llegar a un punto de desfogue.

9.3 Fenómenos naturales

Acontecimiento que se genera producto de la influencia de la naturaleza en el medio ambiente. Los fenómenos naturales como los huracanes, frentes fríos y las tormentas tropicales pueden modificar las condiciones atmosféricas generando tormentas y lluvias intensas de duración corta o moderada, que a su vez pueden provocar aumento en el caudal de los ríos y quebradas, llegando incluso a provocar desbordamientos, estos fenómenos constituyen un forman un grupo amplio, de los cuales son de interés para este trabajo los siguientes:

9.3.1 Lluvia estacional. Se caracteriza por presentarse en periodos del año definidos, normalmente establecidos por calendarización y por sectores o por zonas, en las zonas montañosas se mantiene con lluvias de moderada intensidad en prácticamente todo el año, con disminuciones generalmente para los meses de marzo y de abril.

9.3.2 Lluvia de alta intensidad. Cuando las precipitaciones son de gran magnitud, generalmente presentadas en la época húmeda, la cantidad de agua que cae y se transporta los ríos y quebradas de forma natural o por medio de canales abiertos, provocan situaciones que fácilmente pueden convertirse en inundaciones, la precipitación se mide en mm por hora y aumenta rápidamente el caudal de ríos y quebradas y son generalmente las causantes de las inundaciones, cuando por su volumen no son adecuadamente evacuadas y aceleran los desbordamientos.

9.4 Método racional

El método racional es un modelo empírico que permite calcular el caudal promedio tomando en cuenta las condiciones físicas de la cuenca, autores como Villón (2004) hacen referencia al mismo y le mencionan de la siguiente manera: "El uso de este método tiene una antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo y es el más empleado".

Entre las limitaciones de este método se puede indicar que:

- Proporciona únicamente el caudal pico, no el hidrograma de creciente para diseñar.
- Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo, condición que se cumple cuando la duración de la lluvia es corta.
- Supone que la lluvia es uniforme en toda el área drenada.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación.
- No contempla los efectos de almacenamiento o retención de caudal temporal.
- Asume que el periodo de retorno de la precipitación y de la escorrentía es el mismo, en otras palabras, asume que el área de la cuenca es impermeable y esto no es cierto.

Pese a estas limitaciones el método racional se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano o rural, aplicado a pequeñas cuencas que no exceden 1300 Ha o 13 km², propone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración, si el tiempo de concentración es menor que la duración de lluvia contribuye con mayor caudal para toda la cuenca, pero si la intensidad de lluvia es menor y su duración es mayor, se obtiene un menor caudal.

El caudal máximo se genera a partir de una precipitación, la cual presenta una intensidad máxima dentro de un área tributaria determina.

9.5 Área tributaria

Es el área de influencia que tiene cada pozo y se define como "Área que puede determinarse en mapas topográficos, o mediante trabajos topográficos de campo cuando los datos topográficos han cambiado o cuando el intervalo entre las líneas de

nivel en los mapas es demasiado grande para distinguir la dirección del flujo”. Ven Te Chow (1994).

9.6 Área de cobertura

Corresponde a una sub área que por sus características se distingue de las otras que componen el resto de la cuenca, se puede clasificar por ubicación territorial o por ocupación, usualmente se divide en categorías, por ejemplo, pastos, cultivos, edificaciones o vías.

9.7 Morfología de una cuenca

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento del caudal que circula ella; la dificultad para obtener datos, la topografía, los equipos de alta definición, la precisión y calidad de las imágenes y las condiciones climáticas son factores que obstaculizan la adecuada recopilación de datos, sin embargo, en la actualidad se cuenta con mecanismos digitalizados que ofrecen un alto factor de seguridad y de confiabilidad, que permiten obtener los parámetros morfológicos con más precisión, algunos de ellos son: área, perímetro, pendientes, ocupación, cause, división política, local, alturas. Curvas de nivel.

9.8 Área de una cuenca

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la división de agua respecto a las cuencas o subcuencas adyacentes, corresponde al área dentro de la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico, recopilado por medio de hojas cartográficas a escala, se traza el perímetro en función las curvas de nivel, los cerros y los collados representadas. En este trabajo se utilizará el software QGIS para delimitar los parámetros morfológicos de la cuenca, tomando datos del ATLAS (2014) y actualizaciones del Instituto Tecnológico de Cartago.

9.9 Perímetro de la cuenca

El perímetro (P) de la cuenca o la longitud de la línea divisoria que encierra la cuenca, corresponde a los puntos más altos alrededor del cauce y que delimita las aguas precipitadas al río, quebrada o lago correspondiente, en otras palabras, corresponde a la línea divisoria entre cuencas adyacentes, se traza normalmente mediante

fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas. Valores grandes de perímetro de la cuenca se asocia con cuencas alargadas, mientras que valores pequeños hacen referencia a cuencas redondeadas.

9.10 Caudal

Definido como “Volumen de líquido o fluido que pasa por una sección de una tubería o canal por unidad de tiempo”. Se expresa en litros por segundo (l/s) o (m³/s). Fuente Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias (2017), cabe destacar que existe varios tipos de caudales, de los cuales menciona algunos de importancia para este trabajo.

9.11 Caudal de diseño

Es el valor utilizado para diseñar un canal o alcantarilla, se estima de acuerdo a el área de la cuenca, su topografía y la pendiente, la longitud, la infiltración, la acumulación y el tipo de suelo, también depende de la precipitación pluviométrica o tormenta de diseño. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m³/s).

9.12 Caudal base

El caudal base es aportado por las reservas de una cuenca, que se mantiene constante, fuera de periodos de lluvia. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m³/s).

9.13 Caudal máximo

Es el caudal que se genera a partir de una precipitación, la cual presenta una intensidad máxima dentro de un área determinada. Se expresa matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$Q = (C * I * A) / 360 \quad (m^3/s) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

- Q: Caudal máximo (m³/s).
- C: es el coeficiente de escorrentía que relaciona la tasa de precipitación con el caudal máximo para una cuenca.

- I: es la tasa de precipitación máxima para un período de retorno y un tiempo de concentración, también conocida como intensidad de la lluvia de diseño (mm/h).
- A: es el área estimada de la cuenca o zona de drenaje. (Ha).

El caudal también se define como el producto del área multiplicado por la velocidad del fluido, de forma que también se puede expresar mediante la ecuación (2).

$$Q = A * v \quad (m^3/s) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- Q: Caudal máximo (m³/s).
- A: Sección transversal en m².
- v : velocidad del fluido (m/s).

9.14 Tiempo de pico

Es el tiempo que transcurre desde que se inicia el escurrimiento directo hasta el pico del hidrograma, ver (Hidrología de Villón, p. 198).

$$tp = \frac{td}{2} + tr \quad \text{Ecuación (3)}$$

9.15 Tiempo base

Corresponde al intervalo comprendido desde el inicio y el final del escurrimiento, ver (Hidrología de Villón, p. 198).

$$tb = 2.67 tp \quad \text{Ecuación (4)}$$

9.16 Punto de aforo

Se le conoce como sección de aforo o de control de un río, arrollo o canal, ya sea natural o artificial y del cual se tiene la certeza de que no cambia en el tiempo, o sea no sufre efectos de socavación o sedimentación, en este proyecto se ubica 500 m aguas arriba de alcantarilla.

9.17 Índice de compacidad de Gravelius

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de un cauce, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes, por lo tanto, la forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial.

El índice que representa la forma en planta de una cuenca Tabla 9.1, relaciona su perímetro con el perímetro de un círculo de área equivalente al área de la cuenca.

El círculo es la figura geométrica de menor perímetro, por lo que el índice de compacidad será siempre mayor a 1, y en tanto sea más cercano a la unidad, indicará una cuenca de forma más redondeada.

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de un cauce, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes, por lo tanto, la forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial.

La expresión matemática del índice de compacidad de Gravelius, viene dada por la siguiente ecuación:

$$Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

- Ic: es el índice de compacidad.
- P: es el perímetro de la cuenca.
- A: es el área de la cuenca.

ÍNDICE DE COMPACIDAD DE GRAVELIUS (Ic)

Valores aproximados	Forma de la cuenca
1.0 < Ic < 1.25	Circulares
1.25 < Ic < 1.50	Ovaladas
1.50 < Ic < 1.75	Oblongas
1.75 < Ic < 2.0	Rectangular oblonga
2.0 < Ic	Rectangular alargada

Tabla 9.1 Índice de compacidad de Gravelius

Fuente: SIECA (2016)

9.18 Factor de forma de Horton

Es una característica que permite estimar la tasa de velocidad a la que el flujo llega al cauce principal. El factor de forma (K_f) es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (B) y la longitud del cauce principal del río (L_c).

Expresado matemáticamente el factor de forma viene dado por la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{A}{L_c^2} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

- K_f : es el factor de forma.
- A : es el área de la cuenca.
- L_c : es la longitud del cauce principal de la cuenca.

Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecidas que una de la misma área y mayor factor de forma, por lo que un valor de K_f superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de la cuenca y define la misma con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa y con mayor probabilidad de grandes crecidas.

FACTORES DE FORMA DE HORTON (K_f)	
Valores aproximados	Forma de la cuenca
$K_f < 0.22$	Muy alargada
$0.22 < K_f < 0.3$	Alargada
$0.3 < K_f < 0.37$	Ligeramente alargada
$0.37 < K_f < 0.475$	Ni alargada ni ensanchada
$0.475 < K_f < 0.6$	Ligeramente ensanchada
$0.60 < K_f < 0.8$	Ensanchada
$0.8 < K_f < 1.2$	Muy ensanchada
$K_f > 1.2$	Rodeando el desagüe

Tabla 9.2 Factores de forma de Horton.

Fuente: (Horton, 1939).

9.19 Pendiente media de un río.

Se define como la diferencia de alturas máxima y mínima de la cuenca dividido por la longitud del cauce principal.

$$Pc = (HM - Hm) / (1000 Lc) \quad \text{Ecuación (8)}$$

9.20 Coeficiente de escorrentía

Se puede definir como la relación que existe entre la precipitación que no se infiltra en la corteza del suelo y la precipitación total. El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1, depende principalmente del tipo de suelo o de los materiales utilizados para impermeabilizar techos, aceras y carreteras, entendiendo que la superficial es menor que la total al descotar la infiltración, la evaporación, la evapotranspiración y la que queda estancada, el tiempo de exposición y de la intensidad de lluvia entre otros factores. El coeficiente de escorrentía es un cálculo ponderado de las características de la zona en estudio, puede obtenerse con la siguiente fórmula:

$$C = (\sum_{(i=1)}^n [(Ci * Ai)]) / (\sum_{(i=1)}^n Ai) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

- C: Coeficiente de escorrentía de la cuenca.
- Ci: Coeficiente de escorrentía de cada sector de la cuenca, de acuerdo con su cobertura.
- Ai: es el área de cada sector de cuenca de acuerdo a su cobertura.

Los valores del coeficiente de escorrentía para un proyecto de recolección y evacuación de aguas pluviales deben ser elegidos considerando el efecto de la urbanización creciente, la posibilidad de realización de planes urbanísticos municipales y la legislación local referente al uso de suelo. Las áreas de cobertura se pueden determinar por varios métodos, uno de ellos es la observación precalificada en las hojas cartográficas y seleccionando las áreas comunes se puede cuantificar cada subsección, en este proyecto se utiliza la información del SNIT, la cual se alimenta en la hoja se QGIS y por medio de este software se determina una clasificación de cobertura, los resultados se pueden observar en la Tabla 9.3.

TIPO DE ÁREA O DESARROLLO	
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	Ci
TIPO DE ÁREA	
Techo de edificios	0.80-0.95
Pavimentos de asfalto o concreto	0.70-0.95
Pavimento de ladrillos	0.70-0.80
Suelos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2% o menos	0.05-0.10
Pendiente de 2% a 8%	0.10-0.16
Pendiente de 8% o más	0.16-0.20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto	
Pendiente de 2% o menos	0.10-0.16
Pendiente de 2% a 8%	0.17-0.25
Pendiente de 8% o más	0.26-0.36
TIPO DE DESARROLLO	
Comercios urbanos	0.70-0.95
Oficinas comerciales	0.50-0.70
Casas unifamiliares	0.30-0.50
Condominios	0.40-0.60
Apartamentos	0.60-0.80
Residencias suburbanas (parcelas agrícolas)	0.25-0.40
Parques y cementerios	0.10-0.30

Tabla 9.3 Cobertura de desarrollo.

Fuente: (Norma Técnica A y A, 2017).

9.21 Pendiente media de un río

Se define como la diferencia de alturas máxima y mínima de la cuenca dividido por la longitud del cauce principal.

$$P_c = (H_M - H_m) / (1000 L_c) \quad \text{Ecuación (8)}$$

9.22 Densidad de drenajes.

Se define como la sumatoria de todos los cauces que componen la cuenca dividido entre el área de la cuenca. La densidad de drenaje no siempre proporciona la verdadera medida de la eficiencia de drenaje. Sin embargo, de forma general, refleja el potencial de la magnitud de inundación, cuanto mayor sea el valor de la densidad de drenaje, mayor será el pico y el volumen total de la escorrentía.

Generalmente, los valores van desde 0.5 km/km² para cuencas con pobre drenaje, hasta 3.5 km/km² para cuencas bien drenadas. (Fatorelli & Fernández, 2011).

$$Dd = (\sum_{(i=1)}^n [(caudales)]) / (A) \quad \text{Ecuación (9)}$$

DENSIDAD DE DRENAJE	
Valores aproximados	F
0.5 < Dd	Poco drenada
0.5 < Dd < 3.50	Muy drenadas

Tabla 9.4 Densidad de drenaje.

Fuente: (SIECA, 2016).

9.23 Intensidad de lluvia.

Se debe calcular en función del período de retorno de la tormenta de diseño y del tiempo de concentración.

Para el cálculo de la intensidad, duración o frecuencia se deben utilizar gráficas (curvas) generadas o seleccionadas por el diseñador, cuya información aplique para la zona de influencia del proyecto y esté sustentada en datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional u otro organismo competente en esta materia. Alternativamente, se acepta el uso por provincia de la ecuación de intensidad del Dr. Wilhelm-Günther Varson, según se detalla en la tabla 9.5.

PROVINCIA	INTENSIDAD	# ECUACIÓN
Alajuela	$I = 209,844 - (38,7305 * \ln(D)) + (42,614 - (24,6041 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	
Guanacaste (Liberia)	$I = 200,56 - (35,92 * \ln(D)) + (44,13 - (7,5 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	
Limón	$I = 155,05 - (25,89 * \ln(D)) + (21,79 - (3,14 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	
San José o Heredia	$I = 166,1 - (29,6 * \ln(D)) + (20,3 - (2,279 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	(10)
Cartago	$I = 156,89 - (28,46 * \ln(D)) + (42,2 - (8,07 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	
Puntarenas	$I = 175,65 - (29,58 * \ln(D)) + (34,05 - (5,32 * \ln(\ln(D)))) * \ln(tn)$	

Tabla 9.5 Ecuación de intensidad del Dr. Wilhelm-Günther Varson.

Fuente: (Villón 2004).

Donde:

- I: intensidad, en mm
- D: tiempo de duración de la lluvia, en minutos
- t_n : período de retorno en años
- \ln : logaritmo natural

Para este trabajo se utilizará la ecuación (10) correspondiente al San José-Heredia, ya que corresponde a la ubicación geográfica que involucra el punto de interés.

En sistemas de alcantarillado pluvial convencionales, el período de retorno para el diseño de la red del alcantarillado pluvial debe ser como mínimo de diez (10) años.

9.24 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. En otras palabras, es el tiempo que tarda una gota en viajar desde el punto más lejano de la cuenca hasta el cauce o punto de interés.

El tiempo de concentración está formado por dos componentes, el tiempo de entrada requerido para que el escurrimiento llegue al primer tragante y el tiempo de recorrido dentro de la tubería entre los pozos consecutivos correspondientes al tragante. El tiempo de recorrido en un tramo de tubería se debe calcular respetando las velocidades máximas y mínimas establecidas para sistemas pluviales. El tiempo de concentración de la lluvia que debe considerarse para la determinación de la intensidad y el caudal de un alcantarillado pluvial, debe ser como mínimo de diez (10) minutos, al inicio de cada ramal que tenga un pozo donde se realice un aporte de escorrentía. Según Villón, el tiempo de concentración de una cuenca, es el tiempo necesario para que una gota de agua que cae en el punto o sector más alejado de aquella, llegue al punto de aforo.

El tiempo de concentración se puede estimar por medio de la ecuación de Kirpich, quien la estableció de la siguiente forma:

$$tc = \frac{0.000325[Lc]^{0.77}}{[P]^{0.385}} \quad \text{Ecuación (11)}$$

9.25 Tiempo de retraso.

Villón (2004), define el tiempo de retraso a partir del tiempo de concentración de la siguiente forma:

$$tr = 0.6 tc \quad \text{Ecuación (12)}$$

En donde:

- tr : Tiempo de retraso (h)
- tc : Tiempo de concentración (h)
-

9.26 Precipitación.

La precipitación (P_c) es cualquier forma de hidrómetro, lluvia, llovizna, granizo, que cae de la atmósfera hacia la tierra y que se transporte por el aire o la superficie de la corteza a zonas más bajas, usualmente quebradas y ríos.

Por definición la precipitación se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{I}{D} \quad \text{Ecuación (13)}$$

En donde:

- P_c : Precipitación (mm)
- D : Duración o tiempo de precipitación (h)

9.27 Periodo de retorno.

El periodo de retorno corresponde al tiempo medido en años que en promedio se presenta un evento de precipitación. Los periodos de retorno establecidos para el diseño de obra hidráulicas, dependen entre otros parámetros de costo de la obra, del grado de seguridad que se requiere, de los riesgos y daños ocasionados en los alrededores asociados a una falla.

El periodo de retorno de un evento cualquiera matemáticamente se define como el inverso de la probabilidad de ocurrencia, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{P} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

- T = Período de retorno de un evento cualquiera
- P = Probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier año

Entonces si P es la probabilidad de que ocurra un evento en cualquier año

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Por consiguiente, la probabilidad de que dicho evento no ocurra en un año cualquiera, se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Al suponer que la no ocurrencia de un evento en un año cualquiera es independiente de la no ocurrencia del mismo en los años anteriores y posteriores, entonces la probabilidad de que el evento no ocurra en n años sucesivos es:

$$\bar{P}^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \text{Ecuación (17)}$$

Por lo tanto, la probabilidad de que el evento ocurra al menos una vez en n años sucesivos es:

$$R = 1 - \bar{P}^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \text{Ecuación (18)}$$

Donde:

- R corresponde al riesgo (en la teoría de probabilidad)

A partir del parámetro de riesgo es posible determinar cuáles son las implicaciones de seleccionar un período de retorno dado para una obra que tiene una vida útil de n años.

9.28 Hidrograma, métodos basados en hidrogramas unitarios (Aparicio, 1989)

Según el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica y el método Aparicio, se puede modelar un hidrograma basado en el registro de datos, los cuales han sido ordenados y almacenados en el tiempo. En

el campo de la Hidrología se denomina Hidrograma a la representación gráfica de la variación del caudal en relación con el tiempo en determinado punto de una cuenca hidrográfica, representa visualmente en forma de gráfico las variaciones del caudal (en la escala de las ordenadas) con respecto al tiempo (escala de las abscisas) y el área bajo la curva de la gráfica, representa el volumen total de agua registrado en el punto de aforo.

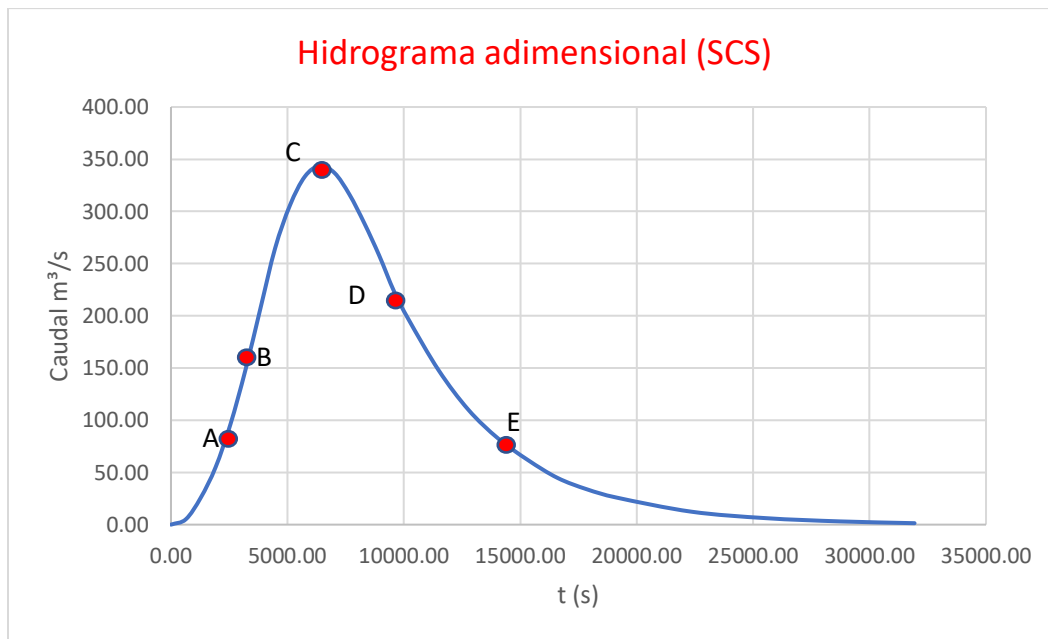


Figura 9.2. Hidrograma adimensional Sistema Conservación del Suelo (SCS)

Fuente: Propia.

9.28.1 Ciclo de un hidrograma. La fase previa de un hidrograma, se inicia con un período seco y se mantiene en ese estado hasta el inicio de la lluvia (punto A de la Figura 9.2).

Punto A) La única contribución al caudal en esta fase la constituye el flujo subterráneo, la tendencia es que el nivel freático tienda a disminuir con el paso del tiempo y se mantendrá hasta que la lluvia se presente y modifique su estado. La primera fase comienza con el inicio de la lluvia, parte del agua precipitada es interceptada por la vegetación, otra es retenida en depresiones y la restante se infiltra dependiendo de las condiciones de humedad del suelo, en esta fase no hay escurrimiento superficial directo, salvo el que cae sobre el cauce directamente.

Punto B) La lluvia intensa da origen a la segunda fase, una vez saturado el suelo da inicio a la escorrentía superficial directa (A-B) y se le conoce como curva de concentración, en esta etapa se presentan tres componentes que contribuyen al caudal: la escorrentía superficial directa, la precipitación sobre la corriente y el agua subterránea. Punto C) Cuando la lluvia se mantiene por un tiempo considerable, se alcanza una tercera fase en la que se llega al nivel de máxima recarga y toda el agua precipitada contribuye con el aumento del caudal, se representa en el hidrograma hasta alcanzar el punto máximo o Caudal Pico (Punto C), en el cual se puede decir que toda la cuenca está contribuyendo al caudal reflejado por el hidrograma. Punto D) La cuarta fase la constituye la recuperación de las condiciones iniciales mencionadas en la fase previa, disminuye la lluvia y se busca el estado inicial (punto E), pasando por el punto D en la curva de descenso, desde este el punto D hasta el E, hasta que el ciclo inicie nuevamente.

Es importante mencionar que, durante el ciclo completo, puede existir uno o varios picos de precipitación (Figura 9.3) que podrían generar alteraciones repentinas en las condiciones normales del caudal y la infraestructura construida.

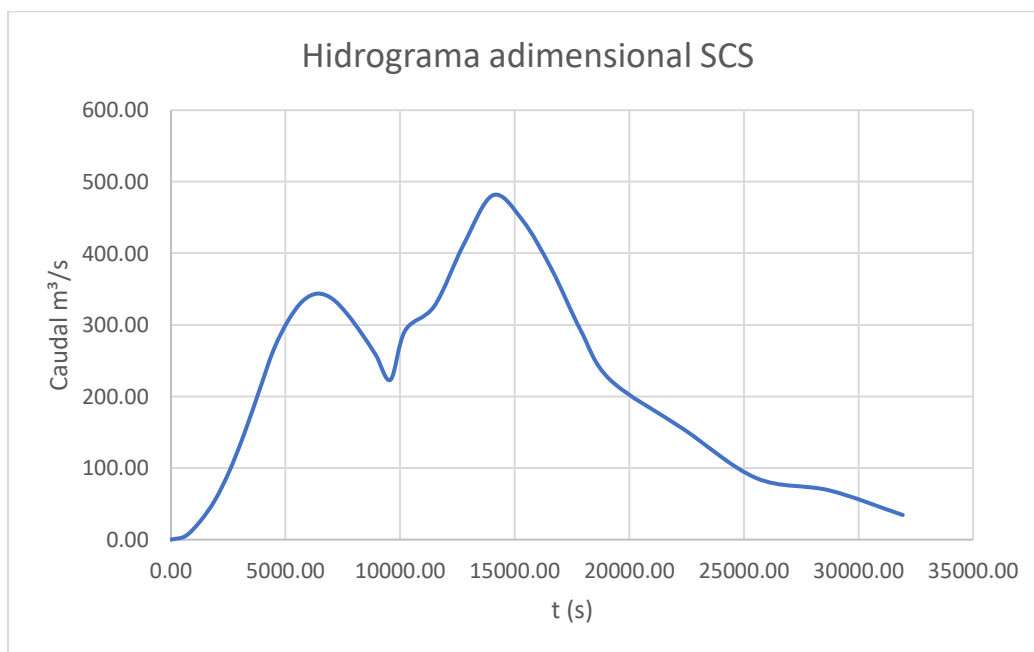


Figura 9.3. Hidrograma adimensional continuo SCS

Fuente: Propia.

En la Figura 9.2, se muestra un hidrograma producto de una lluvia aislada en donde se distingue las siguientes secciones, inicio del escurrimiento directo, continúa con la curva de concentración hasta alcanzar un punto pico, luego registra un descenso denominado curva de descanso hasta que nuevamente inicia un incremento del escurrimiento hasta alcanzar otro punto pico, luego desciende paulatinamente hasta llegar al punto de inicio de agotamiento y finalmente desciende en la curva de agotamiento.

La Figura 9.4 se muestra la forma normal de un hidrograma típico de una etapa, con los nombres que recibe cada una de las secciones que lo compone.

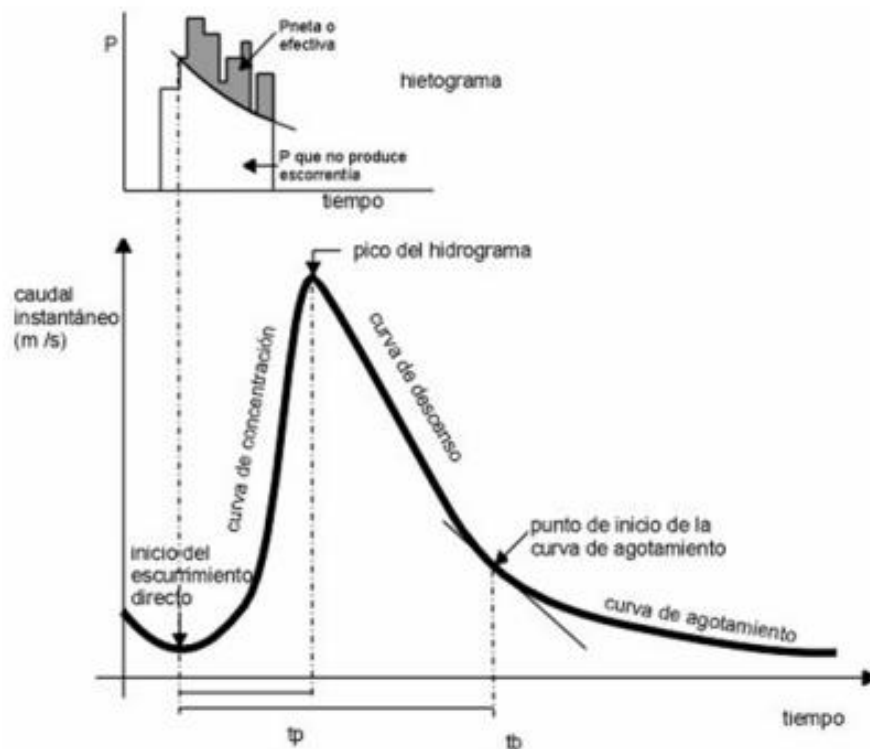


Figura 9.4. Componentes de un hidrograma.

Fuente: (Villón Béjar, 2004).

Para utilizar el método del hidrograma unitario, se requiere contar con un hidrograma medido a la salida de la cuenca, además de los registros de precipitación. Esto representa una limitación de consideración debido a que muchas veces esa información no es simple de recopilar y en muchos casos no se tiene registrada, obligando a tomar algunas suposiciones que basadas en experiencias pueden ayudar

a la proyección de los resultados. En la actualidad se ha desarrollado software que permiten crear hidrogramas unitarios usando la morfología de la cuenca, o sea datos de características generales que la conforman, como lo son el área, el perímetro, el cauce largo y la distribución de los tipos de suelo. Este tipo de hidrogramas se les conoce con el nombre de sintéticos, entre los que destaca el triangular y el hidrograma adimensional del SCS.

9.28.2 Hidrograma unitario triangular. Desarrollado por Mockus (1957) y utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), es un diagrama que proporciona los parámetros fundamentales de un hidrograma: caudal punta (Q_p), tiempo base (t_b) y tiempo pico (t_p).

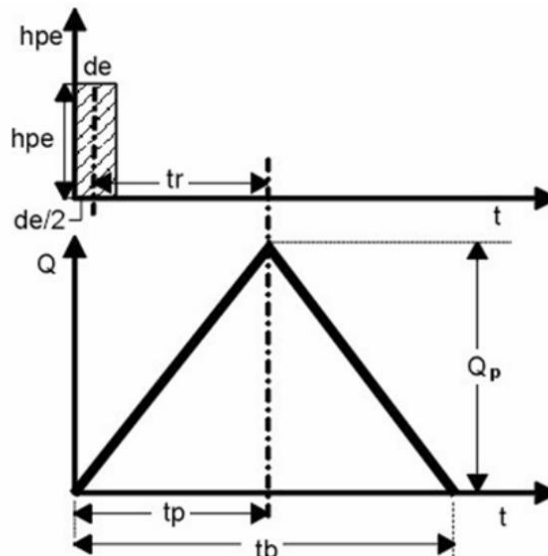


Figura 9.5. Hidrograma unitario triangular

Fuente: (Villón Béjar, 2004).

A partir de la geometría del hidrograma Figura 9.5, se obtiene dos relaciones para la expresión V_e , igualando ambas expresiones se puede despejar la relación del caudal punta Q_p .

$V_e = hpe * A$; $V_e = 1/2 * t_b * Q_p$ y realizando la transformación de unidades

$$Q_p = 0,5555 * hpe * A / t_b \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

- Q_p : caudal punta, expresado en m^3/s .
- hep : altura de precipitación en exceso, en mm
- A : área de la cuenca, en km^2
- t_b : tiempo base, en h

De forma empírica, pero con base en la interpretación de muchos hidrogramas, Mockus establece la relación entre el tiempo base (t_b) y el tiempo pico (t_p), mediante la siguiente expresión:

$$t_b = 2.67 t_p \quad \text{Ecuación (4)}$$

De igual forma la expresión el tiempo pico (t_p) la define como:

$$t_p = t_d/2 + t_r \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

- t_b : tiempo base, en horas (h)
- t_p : tiempo pico, en h
- t_r : tiempo de retraso, en h
- t_d : duración en exceso, en h

El tiempo de retraso, lo estima mediante el tiempo de concentración (t_c), según se expresa en:

$$t_r = 0.6 t_c \quad \text{Ecuación (20)}$$

donde:

- t_r : tiempo de retraso, en horas (h)
- t_p : tiempo de concentración, en h

Algunos autores definen el tiempo de retraso (t_r) mediante la ecuación desarrollada por Chow, Kispich y por Chow, mediante la expresión:

$$t_r = 0,005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

- t_r : tiempo de retraso, en h
- L : longitud del cauce principal, en m
- S : pendiente del cauce, en porcentaje

Para la memoria de cálculo, se utilizará la ecuación (20).

9.29 Curvas de nivel

El relieve de la corteza terrestre o en general la superficie de la primera capa de suelo se representa mediante curvas de nivel, son curvas equidistantes que mantiene una misma referencia de altura respecto al nivel del mar, esta variable se conoce como altitud y corresponde a la altura que se tiene desde cualquier punto de referencia respecto al nivel 0+00.

En los mapas la altitud se indica mediante las curvas, que se encuentran a la misma altitud, estas curvas se conocen con el nombre de curvas de nivel. En otras palabras, las curvas son líneas que unen puntos que tiene la misma altitud respecto de una misma altura. Estas curvas son la representación gráfica entre un plano horizontal y el relieve, proyectadas en un solo plano horizontal de un mapa a escala, las curvas se separan por una distancia definida y pueden varias en su longitud. Existen curvas principales y secundarias, las primeras usualmente marcadas con línea más gruesa y las secundarias son curvas internas entre dos líneas primarias.

Cada curva lleva asociado un número que representa la altitud a la que se encuentra, el valor de ese número se denomina cota. Las curvas de nivel se dibujan de forma regular cada 10, 20, 50 o 100 m, según lo permita la escala, cada curva lleva un nombre que la caracteriza respecto de las otras, o sea se acota con su valor con la cifra orientada con su parte superior hacia el relieve más alto. Esto es importante porque así se determina el flujo de lluvia, o lo que es lo mismo la dirección de la escorrentía.

9.30 Cauce de un río

Se llama cauce al lecho de un arroyo o de un río, corresponde a la depresión del terreno que contiene el agua, y que fluye producto de la pendiente buscando niveles más bajos, dando significado a lo que se conoce como dinámica pluvial.

El cauce es el camino o canal que, de manera natural, permite la circulación del agua, esa trayectoria se modifica constantemente debido a la sedimentación y el arrastre de materia, esta a su vez puede favorecer el incremento del caudal, pudiendo provocar dependiendo de las circunstancias inundaciones en zonas aledañas. Cuando el nivel de agua se eleva de forma

significativa se produce lo que se conoce con el nombre de avenida, creciente, crecida, aguas altas o riada.

9.31 Pendiente de un río

La diferencia de niveles entre un punto de un río y otro se conoce con el nombre de pendiente, es justamente esta diferencia la que permite que el flujo de agua de mueva de forma natural, cuando por causa de obstrucción o hundimientos se provoca la acumulación de agua, se da origen a pozas o lagunas, si los niveles de agua producto de la acumulación supera las limitaciones del medio de paso o retención se produce lo que se conoce como un desborde o inundación, usualmente se origina en las partes más bajas y donde las pendientes de los linderos nos son muy pronunciadas.

9.32 Cuenca hidrológica

“La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua”. Villón (2002). Este curso de agua inicia en quebradas, caños, afluentes y ríos, todos aportando simultáneamente y en un mismo proceso para formar el caudal que correrá finalmente aguas abajo.

9.33 Curva hipsométrica

Es una representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas, por medio de la pendiente de la gráfica. La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulada que es igualado o excedido a una determinada cota.

9.34 Ecuación de Manning

En hidráulica existen varios métodos para calcular el volumen circulante, (entre estos métodos) uno de los más utilizados para determinar el cálculo de volumen por unidad de tiempo, que se transporta por un cauce o canal es el que se estima por medio de la ecuación de Manning, la cual depende de parámetros relevantes como: área de la canalización, perímetro mojado, radio hidráulico y la pendiente, variables que se obtienen por medio de tablas de los fabricantes, cálculos sencillos por medio de fórmulas, pero también depende de una variable o coeficiente que refleja la cantidad de resistencia dinámica al flujo, esta variable

es también conocida como la n de Manning (Ventura et al. 2011), y su cálculo conlleva un mayor trabajo.

Intentar modelar la naturaleza por medio de una ecuación matemática es algo que de principio es ilógico justamente por lo impredecible de sus manifestaciones, sin embargo existen algunas aproximaciones de modelación hidráulica utilizadas como una herramienta que permite representar de una manera simplificada el complejo funcionamiento de la naturaleza, aplica los conceptos de la mecánica de fluidos para elaborar el modelo y verificar si los resultados se ajustan a la realidad antes de construir cualquier estructura hidráulica. La n de Manning es uno de los parámetros más importantes y necesarios en cualquier modelo hidráulico, por lo tanto, este valor debe ser determinado adecuadamente para obtener resultados satisfactorios. Un error del 10% en la n implica un error similar en la velocidad o gasto (León y Martínez 2013).

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
Canales y Zanjas				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.023	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.028	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, entierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.026	0.030	0.033	0.035
Corriente naturales				
1-Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.028	0.030	0.033
2-Igual al 1, pero con algo de hiervas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3-Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4-Igual al 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5-Igual al 3, algo de hierva y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6- Igual al 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7-Ríos pedregosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8-Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

* Valores corrientemente usados en la práctica.

Tabla 9.6 Coeficiente de rugosidad de Manning.

Fuente: Canales de Desviación; Ciancaglini, N. 1966, Argentina, UNESCO.

El n de Manning Tabla 9.6, es un valor que no tiene dimensiones, es altamente variable y depende de una serie de factores, que hace complicado determinar un valor con precisión, por ejemplo: rugosidad superficial, la vegetación, materiales de tuberías, sedimentación y socavación, así como el tamaño y forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo, bajo este principio se puede indicar en general que los granos finos darán como resultado un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valores más altos.

Según Chow (1959), la clasificación del índice de rigurosidad de Manning para llanuras de inundación y canales naturales como ríos se obtiene de la siguiente tabla.

Land use type	Manning's n Value
Barren Land	0.03
Bush	0.05
CultivationArea	0.035
Cutting Area	0.04
Forest	0.1
Grass land	0.035
Orchard	0.055
River	0.04
Sand	0.03

Manning Roughness Coefficient for Diferent Landuse (Chow, 1959)

Tabla 9.7 Coeficiente de rigurosidad de Manning para diferentes usos de suelo.
Fuente: (Chow, 1959).

9.35 Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

Según lo manifiesta Juan Carlos Fallas Sojo, en el documento sobre la historia del IMN, basado en la recopilados por varios autores y de acuerdo a los registros históricos, los primeros datos meteorológicos se deben al botánico y naturalista danés A.S. Oersted, quien en 1846 inició una exploración geográfica en el país, verdadera hazaña en aquella época. Recorrió de Puntarenas a Moín y de Alajuela al río San Juan; efectuó también ascensiones a los volcanes. Sus investigaciones se publicaron en Copenhague en 1863 y sirvieron previamente para la descripción del país en la obra "Cosmos", del sabio alemán Alejandro

Humboldt. Oerted realizó la primera descripción del clima de Costa Rica, aunque sus datos difieren de los observados por otros naturalistas posteriores.

Para mediados del siglo XIX se genera en el país el interés de establecer un observatorio meteorológico, iniciativa liderada, por el Dr. Fernando Streber en 1873, para 1887 se establece el primer observatorio Meteorológico Nacional, bajo la dirección del científico suizo Dr. Henri Pittier Dormond, uno de los extranjeros a quien se llamó sabio, graduado en Suiza como geofísico, ingeniero civil y doctor en Ciencias. Sin embargo, no fue hasta el 7 de abril de 1888 que se publica en La Gaceta, la creación del Instituto Meteorológico Nacional y se nombra como director al Dr. Pittier Dormond, quien también fue asignado como profesor en el Liceo de Costa Rica, por lo que en el mismo Liceo comenzó a funcionar el Meteorológico. Ahí se iniciaron las primeras observaciones sistemáticas de lluvia y temperaturas de San José y el estudio del clima del país. Fuente Historia-IMN Juan Carlos Fallas Sojo.

El IMN tiene más de 100 años de recopilar y analizar la información respecto al comportamiento de la naturaleza y actualmente es la fuente principal de la información donde se tomará el cálculo para este trabajo.

9.36 Estaciones meteorológicas e hidrológicas

Una estación meteorológica corresponde a una instalación destinada a medir y registrar variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad y temperatura de un sitio o área en particular.

Por su parte, la estación hidrológica corresponde a una instalación que mide parámetros en cuerpos de agua como ríos o quebradas, permite registrar datos del nivel de agua, caudal o flujo de corriente y propiedades físicas y químicas del agua.

La información obtenida es utilizada por investigadores (en sus proyectos) y estudiantes (en sus trabajos académicos), o sea que las estaciones cuentan con una serie de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática, contante y cuantitativa, la misma es procesada por medio de sistemas automáticos de información, además es ordenada y clasificada, para finalmente almacenarla. Esta información es fundamental para confeccionar mapas de inundaciones, estimaciones del tiempo,

proyecciones a futuro y en fin estudiar y analizar circunstancias dentro del campo de la ingeniería hidráulica de interés.

9.37 Desnivel altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca ($DA=H_M-H_m$). Si el valor es grande la cuenca presentará diferencias de nivel considerables, las cuales pueden favorecer la velocidad de los caudales y la erosión o arrastre de suelo, a los valores bajos se le relaciona con pendiente pequeña y el suelo estará más propenso a desbordamientos e inundaciones. Una cuenca puede presentar diferentes valores de desnivel altitudinal en distancias relativamente cortas, lo que a su vez se traduce en efectos desfavorables por causa de inundaciones.

9.38 Curvas de Intensidad Duración Frecuencia

Según, Témez, (1978), las CIDF son rectas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Las CIDF son gráficas de la relación entre la intensidad de precipitación, la duración y el periodo de retorno o la frecuencia de la precipitación.

Para la lectura de las CIDF, en el eje de las abscisas se localiza la duración, en el eje de las ordenadas se encuentra la intensidad de precipitación y cada una de las curvas corresponde a las rectas por período de retorno.

9.39 QGIS

Es un Sistema de Información Geográfica de software libre y código abierto, admite diversos formatos de datos ráster y vectoriales, pudiendo añadir nuevos formatos usando la arquitectura de complementos. **QGIS** se distribuye bajo la Licencia Pública General GNU (GPL).

9.40 HEC-RAS (acrónimo de *Hydrologic Engineering Center* y *River Analysis System*)

Es un programa de ordenador que modeliza la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de otros canales. El programa fue desarrollado por el Cuerpo de

Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, para gestionar los ríos, puertos y otras obras públicas bajo su jurisdicción.

10. Marco Metodológico

10.1. Tipo de investigación

Este proyecto de finalidad aplicada se basa en resolver un problema actual en la Autopista General Cañas y la intersección con el paso de agua de la Quebrada Seca, aplicando concepto y procedimientos de la ingeniería civil mediante el ejercicio de la profesión.

10.2. Enfoque sistemático

El marco o la extensión del tema se clasifica en meta, en cuanto es de aplicación en el campo de la ingeniería hidráulica, enfocado a escorrentías, avenida máxima, análisis de canales, pasos de aguas y alcantarillas.

10.3. Naturaleza del trabajo

La naturaleza es cuantitativa por cuanto se analizan datos y cantidades específicas de algunas variables hidráulicas, al mismo tiempo, es cualitativa por cuanto se trata de detallar los elementos que se deben considerar para la elaboración de planos de construcción en los pasos de agua o alcantarillas.

10.4. Carácter

El carácter de este estudio es descriptivo, analítico, debido a que constituye una propuesta detallada de una metodología, en la que se analiza la zona, la escorrentía, le cauce y las condiciones que favorecen el aumento del caudal, así como la infraestructura actual que no permite una adecuada circulación del mismo. De igual forma se indica cuáles serán algunas de las modificaciones que se debe realizar para disminuir el impacto de la eventual emergencia por inundación.

10.5. Administración y abordaje del proyecto

Este proyecto se trabajará en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación.

10.5.1. Etapa 1: Estudios preliminares. Considerando que los cantones involucrados son San Rafael de Heredia, Barva, Heredia, San Joaquín de Flores y Belén, hará un recorrido por los cruces de carretera para identificar la situación actual de cada tramo. Se pretende estudiar las condiciones geográficas y de infraestructura

de la zona problemática, en este caso corresponde a la Carretera No.1, en el sentido San José y Alajuela; específicamente frente a la Lizano.

En la Figura 10.1, se representa con un círculo de color anaranjado se ubica el punto de interés, corresponde a la alcantarilla principal, usualmente obstruida tal como se observa. Adicionalmente se realiza un recorrido por el campo para determinar las condiciones actuales que pueden incidir en posibles inundaciones, observando los canales abiertos de desfogue, los sistemas subterráneos de alcantarillado provenientes de la zona industrial adena, el nivel de la calzada, la pendiente en el tramo de carretera y la confección de los distintos sistemas de alcantarillado, que se ubican en ambos sentidos de la autopista, además de los tragantes y la forma de cada uno de estos medios de evacuación de agua.



Figura 10.1. Paso de agua frente a Industrias Lizano.
Fuente: Propia, asistido por SNIT y Google Earth Pro.

Estas modificaciones deberían estar en función de disminuir la magnitud de las inundaciones que se generan en esta zona. Esta propuesta se analizará y se comparará con los datos que se generen a partir de las etapas 3 del presente proyecto, si no existiera tal documento por parte del MOPT o si no fuera posible que lo suministren, no sería un impedimento para identificar las deficiencias que se presentan actualmente en el área de

estudio, a fin de que en el futuro las tomen en consideración para un eventual plan de intervención.

10.5.2. Etapa 2: Prediseño. Para el desarrollo matemático del modelado del caudal se utiliza la teoría del libro “Hidrología” de Máximo de Villón Bejar, publicado en febrero de 2002, por el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta publicación está orientada a comprender los principios fundamentales de la hidrología y junto con el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica (SIECA), entre otros textos de consulta, servirán de modelo para el cálculo matemático y con soporte en software como QGIS, Autocad, Microsoft Excel y HEC-HAS, se obtendrá el modelado de la cuenca y buscará una solución ingenieril al problema que se genera por los fenómenos hidrológicos que inundan la carretera.

10.5.3. Etapa 3: Sugerencia de cambios. A partir del estudio, análisis y la comparación de la propuesta proyecto del MOPT con los datos generados en la etapa 3 del presente proyecto, se procederá a identificar cambios que se podrían realizar a dicha propuesta. Por las condiciones de la topografía en el punto de la emergencia, el actual acondicionamiento de la carretera, los canales de desfogue a los lados que llegan a la quebrada, la pendiente de la calzada, la barrera New Jersey y entre otras condiciones de infraestructura que se analizarán, se podrá documentar como un plan de implementación urgente y de poco impacto, que disminuye la posibilidad de una inundación que puede poner en altísimo riesgo toda esa zona, la cual es de alto tránsito diario y que por estar en estas condiciones de infraestructura se ha convertido en una trampa para quienes circulan por ella.

En esta parte del trabajo se utilizará es software de HEC-RAS para realizar el modelado dinámico.

La morfología de la cuenca de divide en dos etapas de desarrollo:

- Análisis hidrológico
- Análisis hidráulico

11. DESARROLLO DEL TRABAJO

11.1 Análisis hidrológico

Las cuencas se forman por la unión de riachuelos, quebradas, ríos, arroyos, o fuentes de agua naturales que se unen y conducen los flujos de agua hacia un cauce principal, delimitada por una división de aguas que es lo que normalmente se conoce con el nombre de cuenca; su perímetro es una línea curvada y ondulada que recorre la divisoria de vertido de aguas entre las cuencas adyacentes y la superficie encerrada en ese perímetro constituye el área de la cuenca.

Como ya se mencionó anteriormente, la Quebrada Seca abarca varios cantones de la provincia de Heredia y una pequeña parte de la provincia de Alajuela, sin embargo, para este trabajo se debe delimitar parte del área, de forma que el punto de interés de este proyecto se localiza en la intersección con carretera nacional General Cañas a una altura de los 970 m.s.n.m., dejando fuera del área de estudio al cantón de Belén y la pequeña parte que corresponde a Alajuela, según se muestra en la Figura 11.1.

Es importante mencionar que una buena parte del sector de Heredia y de Barva se encuentra urbanizado, con calles asfaltadas, lo que estimula los niveles de escorrentía hacia los cauces de la cuenca.

El agua que se mueve por toda la superficie (escorrentía) o la que se canaliza por el subsuelo (infiltrada) de una cuenca hidrográfica se conforma por toda la red de canales, es lo que se conoce como el sistema fluvial o red de drenaje de la cuenca.

El estudio morfológico de una cuenca, corresponde a un estudio cuantitativo de las particularidades físicas del área que comprende, se utiliza para analizar la red drenaje, las irregularidades topográficas, las pendientes y la forma que presenta, según sean los cálculos de valores numéricos.

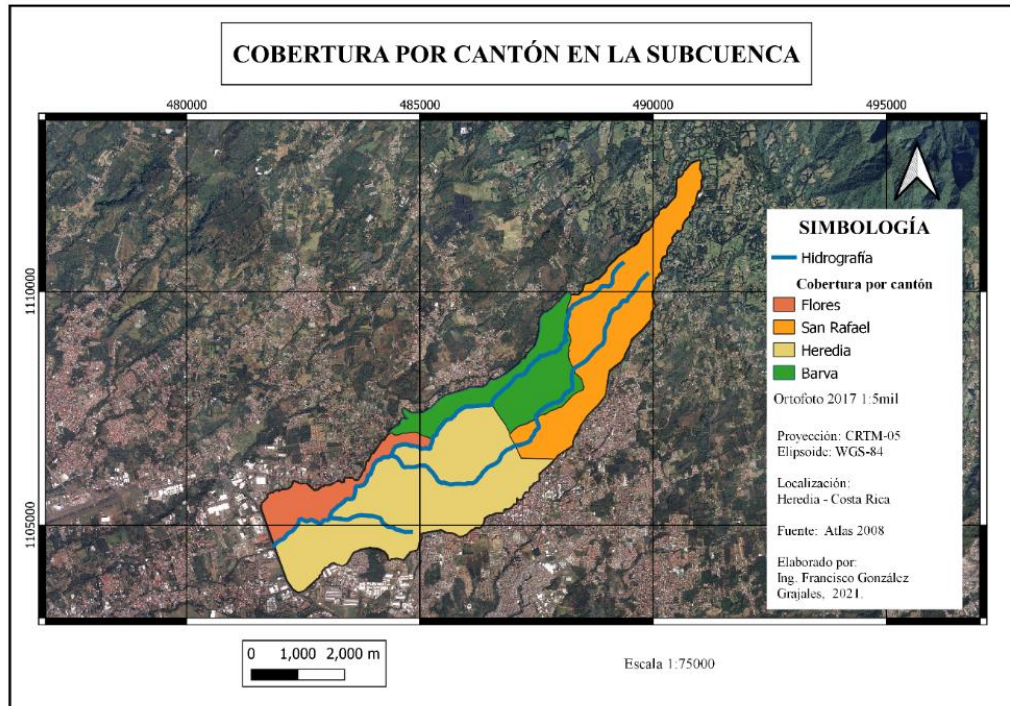


Figura 11.1. Subcuenca Quebrada Seca, distribución por cantones.

Fuente: Propia.

La morfología de una cuenca es el primer paso para determinar el comportamiento hidrológico y permite realizar análisis de su comportamiento ante eventos climatológicos, así como establecer las características físicas como el perímetro, el área, el factor de forma, el índice de compacidad, además de características de la red hidrográfica como longitud del cauce, pendiente media del río, densidad de drenaje y parámetros de relieve como la curva hipsométrica o índice de pendientes.

Mediante hidrograma se realiza la representación gráfica de un caudal, nivel de agua o carga de sedimentos, referenciado en el tiempo y en un punto específico de la cuenca, es la expresión gráfica de $Q = f(t)$, el tiempo o la unidad de tiempo a utilizar es variable, pudiendo representarse en horas, días, meses o años. El área comprendida bajo un hidrograma corresponde al volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo en el intervalo de tiempo requerido. Los hidrogramas son útiles, entre otras cosas, para comparar los tiempos de descarga y caudales pico de varias corrientes o cuencas hidrográficas, para así conocer las diferencias entre sus capacidades de respuesta ante avenidas.

La figura 1.4, muestra la cuenca delimitada a partir de un modelo de elevación digital basado en las curvas de nivel de las hojas cartográficas. Se utiliza las hojas cartográficas Salitral, Setillal, La Hoja, Turales y Uriche, escaladas 1 a 50000. La delimitación por medio de programa Autocad 2020, la divisoria de la cuenca indica límite del área superficial que es drenada hacia el punto de interés, la imagen muestra el área delimitada por la división de aguas, además del cauce largo, comprendido por el río principal y el Río Burío, incluyendo el caño que se forma desde el punto más alto en la montaña.

El modelo que se va a utilizar para el trazo de la subcuenca corresponde al obtenido por medio del software QGIS, Figura 11.1, este programa corresponde a un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre y de código abierto, se complementa con información adicional del Google Earth Pro y la base de datos ATLAS (2008) del Instituto Tecnológico de Cartago, además del SNIT y sus actualizaciones. Con esta información se delimita la cuenca y por medio de sus complementos se obtiene la información correspondiente a la morfología, mediante un programa propio de cálculo los datos que se utilizarán en una hoja electrónica de Microsoft EXCEL, de aquí se obtendrá los cálculos y los hidrogramas de la subcuenca.

11.2 Memoria de cálculo

En la memoria de cálculo, se registra las fórmulas para obtener los resultados que se requiere, la teoría fundamental para la elaboración de la hoja electrónica se toma del libro de Hidrología de Máximo Villón y se complementa con el Manual de SIECA (2016), corresponde a los cálculos para obtener los parámetros que se requiere para el modelo en QGIS.

11.2.1 Puntos de interés. Se marca tres puntos de interés, el primero y sin duda en más importante corresponde a sitio de la alcantarilla, luego de este y a 500 metros de distancia por el cauce se indica los dos puntos adicionales, uno aguas abajo y el otro, aguas arriba de la alcantarilla, tal como se presenta en la siguiente figura.

Los tres puntos más importantes, se ubican en el cauce del río, representados en la Figura 11.2, la separación entre ellos es de 500 m, para un trayecto de 1 km que posteriormente analizado con un modelado hidráulico, por medio de HEC-RAS.

Tomando como referencia las ecuaciones de la (1) a la (11), se confecciona una memoria de cálculo en Excel, la cual permite calcular y obtener los parámetros requeridos para modelar la cuenca hidrológica e hidráulicamente.

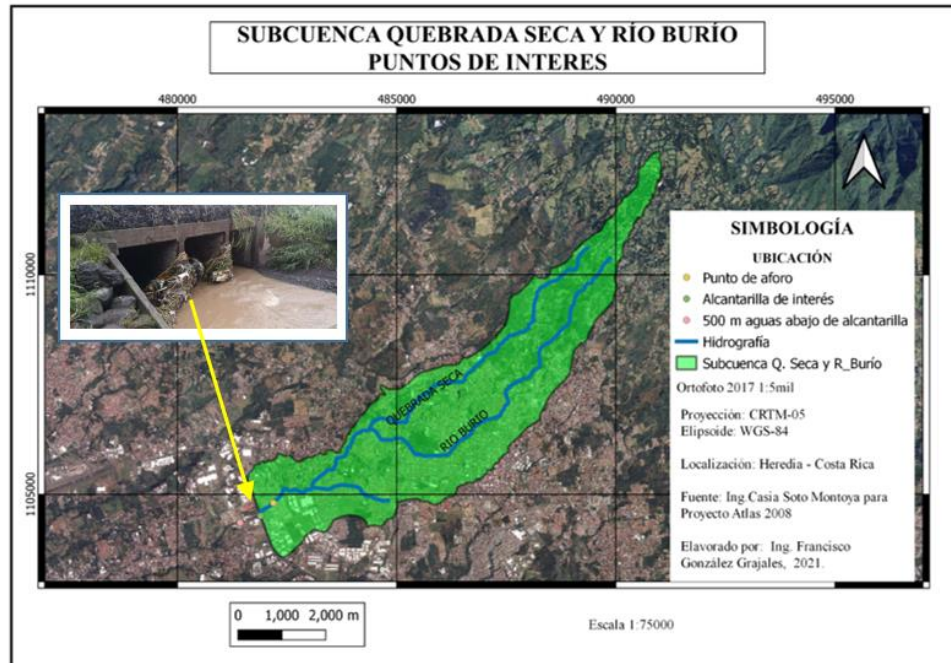


Figura 11.2. Puntos de Interés, Quebrada Seca.

Fuente: Propia, fotografía de (Peña, S, 2020).

Para comprender mejor los cálculos desarrollados en la memoria, se puede resaltar algunos de los pasos que permiten la confección de la memoria mencionada, por ejemplo con la ecuación (6), se obtiene primeramente el factor de forma de HORTON, para clasificar el factor de forma se utiliza la teoría de HORTON (1932), recopilada de los datos de Villón en el libro de Hidrología, ver Tabla 2, otro parámetro corresponde al índice de compacidad, este se determina por medio de la ecuación (5), también la clasificación de Gravelius, según la Tabla 9.1.

Dos parámetros adicionales respecto a la red hidrográfica, corresponden a la pendiente de río y la densidad de drenajes, que se calculan mediante las ecuaciones (8) y (9) respectivamente, Todos estos parámetros serán de utilidad para posteriores, existe varias formas de obtenerlos y eso depende de algunos autores, uno de ellos es Máximo Villón, sus aportes y trabajos en el campo de la hidrología nos sirven de modelo para obtener los parámetros que requerimos.

En la Tabla 11.1, se observar el resumen de resultados de la memoria de cálculo, descrito anteriormente.

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Perímetro de la cuenca	P	31.47	km
Área de la cuenca	A	21.66	km ²
Longitud del cauce principal	Lc	11707.99	m
Elevación máxima del cauce	HM	1559.00	msnm
Elevación mínima del cauce	Hm	1001.00	msnm
Longitud de todos cauces	Ls	20.97	km
PÁRÁMETROS DE FORMA HORTON (Kf)			
Factor de forma según HORTON	Kf	1.45	1/km
		Rodeando el desagüe	
ÍNDICE DE COMPACIDAD DE GRAVELIUS (Ic)			
Índice de compacidad de Gravelius	Ic	1.91	
		Rectangular oblonga	
RED HIDROGRÁFICA			
Pendiente media del río	Ir	0.05	
Densidad de drenajes	Dd	0.97	km/km ²

Tabla 11.1. Tabla de resultados, memoria de cálculo.
Fuente: Propia.

Los datos que se introducen a la memoria de cálculo, se obtienen directamente del software de QGIS, mediante los recursos que trae se depura la información que luego se exporta a la memoria de cálculo. Uno de los parámetros más importantes corresponde a la intensidad (I), definida para este caso mediante la ecuación (10), la cual fue diseñada por el Dr. Wilhelm-Günther Vharson (UNA,1992) y que corresponde a las provincias de San José y Heredia.

11.3 Hidrogramas unitarios sintéticos

El hidrograma sintético de forma triangular, se obtiene introduciendo los valores de duración de precipitación y el tiempo de retorno, la Intensidad de lluvia se calcula mediante la ecuación (10), vea Tabla 9.5 y con la ecuación (11) se estima el tiempo de concentración

(analizado por Kirpich), la ecuación (12) permite calcular el tiempo de retardo, el tiempo base y el pico se obtiene con las ecuaciones (4) y (3) respectivamente.

DATOS DE ENTRADA		
Parámetros	Valor	Unidad
Área (A)	21.66	km ²
Perímetro (P)	31.5	km
Longitud del cauce principal (Lc)	11.7	km
Elevación máxima (HM)	1559	msnm
Elevación mínima (Hm)	1001	msnm
Período de retorno (Pr)	10	años
Duración de la precipitación (D)	20	minutos
Cambio climático	NO	

CÁLCULOS		
Parámetros	Valor	Unidad
Pendiente media del río	0.048	m/m
Tiempo de concentración (tc)	1.424	h
Tiempo de retraso (tr)	0.854	h
Tiempo pico (tp)	2.05	h
Tiempo base (tb)	5.468	h
Intensidad de lluvia (I)	108.448	mm/h
Precipitación (Pc)	36.149	mm
Caudal punta (Qp)	79.54	m ³ /s

Tabla 11.2 Tabla de resultados, parámetros morfológicos de la subcuenca.
Fuente: Propia.

De la información obtenida se obtienen los tres pares de puntos ordenados para realizar el hidrograma triangular.

HIDROGRAMA UNITARIO		
	Q(m ³ /s)	t(i)
Origen	0.00	0.00
(Qp,tp)	79.54	2.05
Final	0.00	5.47

Tabla 11.3 Pares ordenados de relevancia para diagrama triangular.
Fuente: Propia

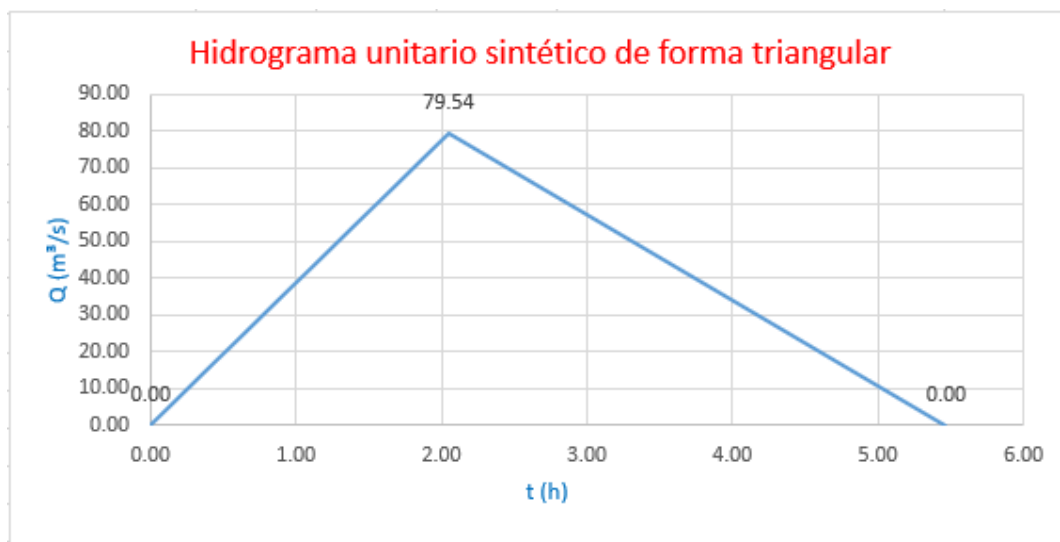


Figura 11.3. Diagrama triangular, según datos de la Tabla 9.

Fuente: Propia

En la Figura 11.3, se logra apreciar el valor del caudal pico, valor de 79.54 m³/s, el cual se presenta en un tiempo pico de 2.05 horas, las unidades responden al esquema valorado y propuesto por Villón (2004) y es aplicado a la subcuenca en estudio.

11.3.1 Hidrograma adimensional del SCS. Este proyecto plantea un análisis de sensibilidad que permite identificar las variables más importantes, que inciden en el modelaje de la escorrentía. Del libro de Hidrología de Máximo Villón, se obtiene un método para realizar el diagrama de un hidrograma adimensional, con base en la teoría desarrollada por Williams & Hann (Williams, 1973) y por el SCS (Sistema de Conservación de Suelos 1972), para lo que se divide la escala de caudales entre el caudal pico (Q_p) y la escala del tiempo entre el tiempo pico, los datos se resumen en la tabla 10 y los valores de t/t_p y Q/Q_p se extraen de la página 230 del libro mencionado.

Según Villón, esta técnica solamente es válida para consideraciones de hidrogramas producidos por precipitaciones cortas y homogéneas, condiciones que se asume para el caso en estudio, además es importante resaltar que este modelo es apropiado para situaciones donde no se tiene datos de precipitación horaria, o sea, la información que proporciona el IMN es diaria y realmente no es tan relevante para nuestro análisis. En algunos puntos estratégicos de un cauce podría existir medidores de caudal y de precipitación en tiempo real, pero este no es nuestro caso.

Conocidos los valores de (Q_p) y (t_p), se procede con los cálculos y se obtiene el siguiente resultado.

DATOS PARA HIDROGRAMA ADIMENSIONAL			
t/ t_p	Q/ Q_p	t(s)	Q (m ³ /s)
0.000	0.000	0.00	0.00
0.100	0.015	737.20	1.19
0.200	0.075	1474.39	5.97
0.300	0.16	2211.59	12.73
0.400	0.28	2948.79	22.27
0.500	0.43	3685.99	34.20
0.600	0.6	4423.18	47.73
0.700	0.77	5160.38	61.25
0.800	0.89	5897.58	70.79
0.900	0.97	6634.77	77.16
1.000	1.000	7371.97	79.54
1.100	0.98	8109.17	77.95
1.200	0.92	8846.37	73.18
1.300	0.84	9583.56	66.82
1.400	0.75	10320.76	59.66
1.500	0.65	11057.96	51.70
1.600	0.57	11795.15	45.34
1.800	0.43	13269.55	34.20
2.000	0.32	14743.94	25.45
2.200	0.24	16218.34	19.09
2.400	0.18	17692.73	14.32
2.600	0.13	19167.13	10.34
2.800	0.098	20641.52	7.80
3.000	0.075	22115.91	5.97
3.500	0.036	25801.90	2.86
4.000	0.018	29487.89	1.43
4.500	0.009	33173.87	0.72
5.000	0.004	36859.86	0.32

Tabla 11.4 Datos para hidrograma adimensional, según Máximo Villón (2004).
Fuente: Propia.

Para esta corrida de datos en la memoria de cálculo se estima un periodo de retorno de 10 años y una duración de la precipitación de 20 minutos, con estos datos se obtiene la Figura

11.4, que representa el hidrograma adimensional para los parámetros morfológicos de la Quebrada Seca.

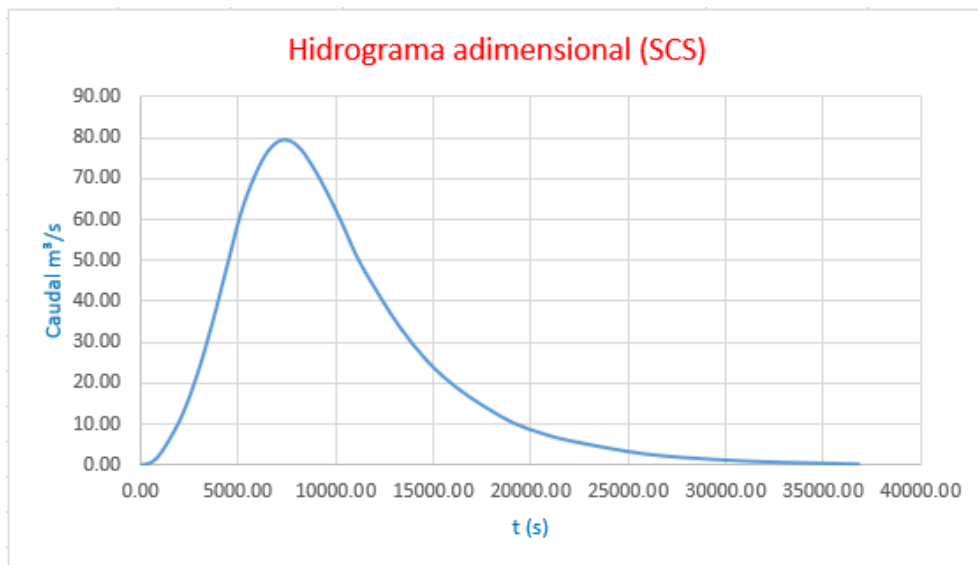


Figura 11.4. Hidrograma adimensional, para un período de retorno de 10 años y una duración de precipitación de 20 minutos, teoría según Villón (2004).

Fuente: Propia

Si se realiza varios diagramas adimensionales, manteniendo constante el tiempo de precipitación y variando el periodo de retorno para 10, 25 y 50 años se obtiene la los resultado de la Tabla 11.5 y representación de las curvas se puede observar en la Figura 11.5.

Datos para hidrogramas adimensional con diferentes periodos de retorno con una duración de 20 minutos					
Pr =10 años		Pr =25 años		Pr =50 años	
t(s)	Q (m³/s)	t(s)	Q (m³/s)	t(s)	Q (m³/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
737.20	1.19	737.20	1.33	737.20	1.43
1474.39	5.97	1474.39	6.64	1474.39	7.16
2211.59	12.73	2211.59	14.18	2211.59	15.27
2948.79	22.27	2948.79	24.81	2948.79	26.73
3685.99	34.20	3685.99	38.10	3685.99	41.04
4423.18	47.73	4423.18	53.16	4423.18	57.27
5160.38	61.25	5160.38	68.22	5160.38	73.49
5897.58	70.79	5897.58	78.85	5897.58	84.95
6634.77	77.16	6634.77	85.94	6634.77	92.58
7371.97	79.54	7371.97	88.60	7371.97	95.45
8109.17	77.95	8109.17	86.83	8109.17	93.54

8846.37	73.18	8846.37	81.51	8846.37	87.81
9583.56	66.82	9583.56	74.42	9583.56	80.18
10320.76	59.66	10320.76	66.45	10320.76	71.59
11057.96	51.70	11057.96	57.59	11057.96	62.04
11795.15	45.34	11795.15	50.50	11795.15	54.40
13269.55	34.20	13269.55	38.10	13269.55	41.04
14743.94	25.45	14743.94	28.35	14743.94	30.54
16218.34	19.09	16218.34	21.26	16218.34	22.91
17692.73	14.32	17692.73	15.95	17692.73	17.18
19167.13	10.34	19167.13	11.52	19167.13	12.41
20641.52	7.80	20641.52	8.68	20641.52	9.35
22115.91	5.97	22115.91	6.64	22115.91	7.16
25801.90	2.86	25801.90	3.19	25801.90	3.44
29487.89	1.43	29487.89	1.59	29487.89	1.72
33173.87	0.72	33173.87	0.80	33173.87	0.86
36859.86	0.32	36859.86	0.35	36859.86	0.38

Tabla 11.5 Datos para hidrograma adimensional, tres eventos con diferente período de retorno y una misma duración de precipitación.

Fuente: Propia

La Figura 11.5, representa las tres curvas resultantes para los hidrogramas adimensionales para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, manteniendo constante una duración de precipitación de 20 minutos.

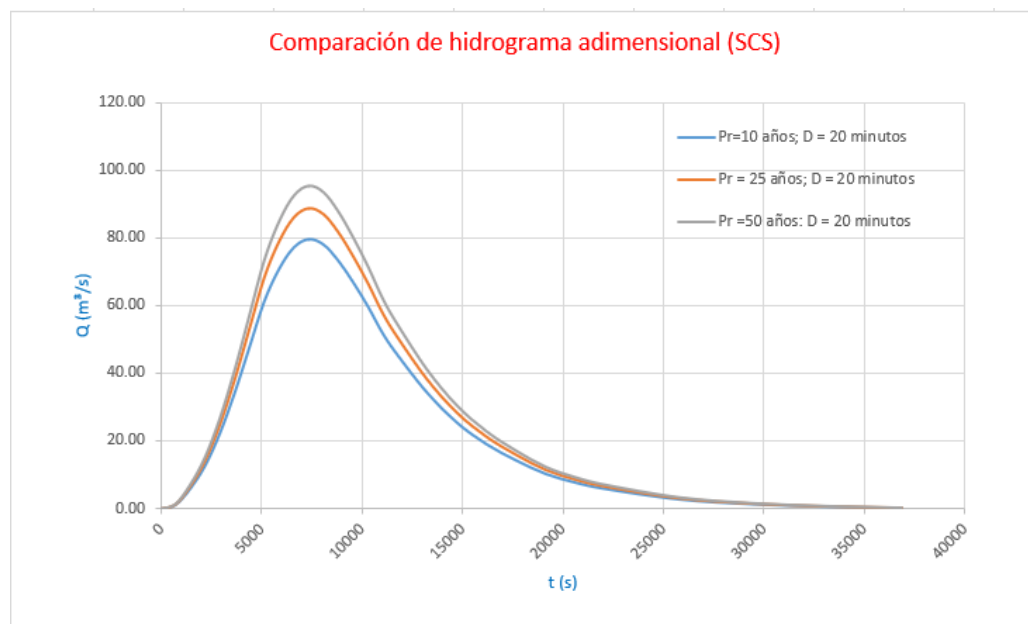


Figura 11.5. Hidrograma adimensional, para un período de retorno de 10, 25 y 50 años y una duración de precipitación de 20 minutos, teoría según Villón.

Fuente: Propia.

11.4 Histograma Frecuencia de Altitudes y Curva Hipsométrica

Por medio de QGIS se puede extraer los datos del área y de las altitudes correspondientes y tabularlos y con la memoria de cálculo, preconfigurada se puede obtener los datos para graficar la curva hipsométrica y las frecuencias de altitudes, según se indica en la Tabla 11.6.

Altitud (m)	Áreas parciales (km ²)	Área acumulada (km ²)	Área que quedan sobre las altitudes (km ²)	% del total (B_n)	% del total que queda sobre la altitud
994	0	0	21.66	0%	100%
1019	1.53	1.5274	20.13	7%	93%
1044	1.73	3.2542	18.41	8%	85%
1069	1.14	4.3966	17.26	5%	80%
1094	1.69	6.0901	15.57	8%	72%
1119	2.04	8.1332	13.53	9%	62%
1144	1.93	10.0598	11.60	9%	54%
1169	2.01	12.0746	9.59	9%	44%
1194	1.54	13.6147	8.05	7%	37%
1219	0.67	14.2797	7.38	3%	34%
1244	0.84	15.1177	6.54	4%	30%
1269	0.58	15.6989	5.96	3%	28%
1294	0.58	16.2824	5.38	3%	25%
1319	0.56	16.8381	4.82	3%	22%
1344	0.41	17.2504	4.41	2%	20%
1369	0.49	17.7439	3.92	2%	18%
1394	0.48	18.2193	3.44	2%	16%
1419	0.39	18.6063	3.05	2%	14%
1444	0.36	18.9705	2.69	2%	12%
1469	0.36	19.3346	2.33	2%	11%
1494	0.32	19.6535	2.01	1%	9%
1519	0.27	19.9256	1.73	1%	8%
1544	0.27	20.1954	1.46	1%	7%
1569	0.25	20.4492	1.21	1%	6%
1594	0.23	20.6839	0.98	1%	5%
1619	0.22	20.9023	0.76	1%	3%
1644	0.15	21.048	0.61	1%	3%
1669	0.14	21.1865	0.47	1%	2%
1694	0.08	21.266	0.39	0%	2%
1719	0.13	21.3938	0.27	1%	1%
1744	0.09	21.4815	0.18	0%	1%
1769	0.10	21.5813	0.08	0%	0%
1794	0.05	21.6307	0.03	0%	0%
1819	0.03	21.6598	0.00	0%	0%
	21.66			100.00%	

Tabla 11.6 Diferencial de altitudes y área correspondiente, datos tomados de la morfología de la cuenca por medio de QGIS y la memoria de cálculo de Microsoft Excel.

Fuente: Propia.

Estos resultados permiten graficar la curva hipsométrica y la frecuencia de altitudes y representarlas simultáneamente mediante la Figura 11.6.

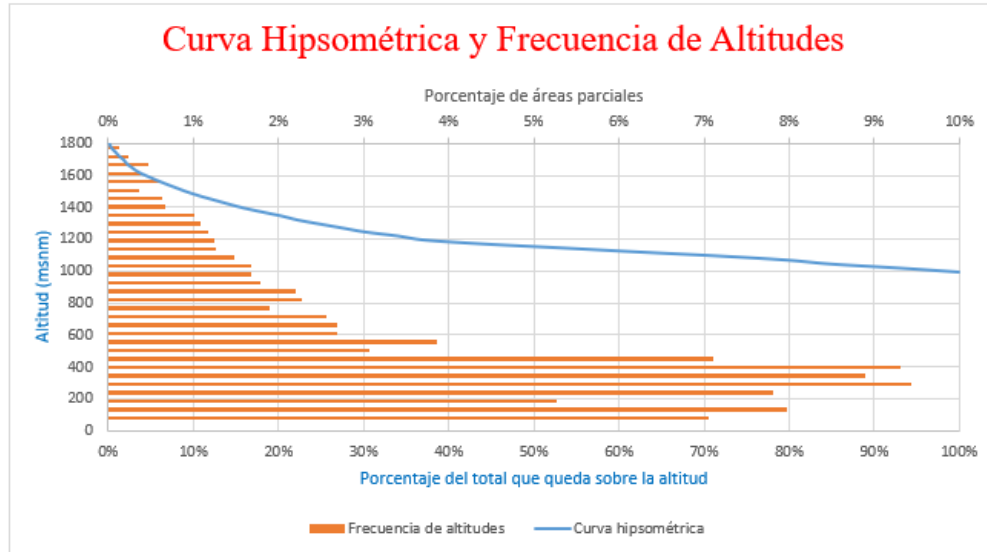


Figura 11.6. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes para la Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío.

Fuente: Propia.

Otra representación de la altitud es clasificarla por color mediante un modelo digital de elevaciones (MDE), de tal forma que, el color rojo será intenso para sectores de mayor altura y con forme disminuye la elevación el pixelado del rojo también se degrada, tornándose azulado para sectores de menor altura, el cual se aprecia en la Figura 11.7.

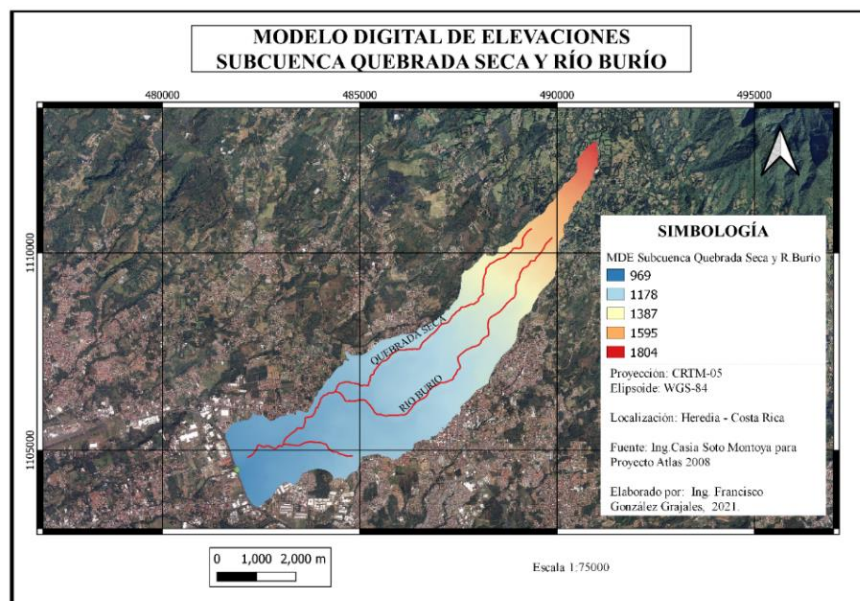


Figura 11.7. Modelo digital de elevaciones Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío).

Fuente: Propia.

11.4.1 Perfil longitudinal. Los puntos geográficos de cada estación y la altura correspondiente del cauce principal de la Subcuenca Quebrada Seca, se obtienen de QGIS y se cargan en la memoria de cálculo de Excel previamente diseñada. Con estos datos se realiza la gráfica del perfil longitudinal, de la sección del cauce desde el punto más alto hasta el punto de aforo Figura 11.8. Se debe mencionar que el perfil longitudinal no llega hasta la alcantarilla, sino que culmina 500 m aguas arriba de la misma, esto se debe a que, a partir del punto de aforo, aguas abajo y por un kilómetro de distancia sobre el margen del caudal, se realizará el modelaje hidráulico, el cual se complementa con los datos del modelo hidrológico. Es por medio de QGIS que se traza la subcuenca, se define el área y el perímetro de la misma, pero estos datos responden al área desde la parte más alta hasta el punto de interés, no llega hasta el punto de aforo como debiera realizarse, sin embargo por la infraestructura del sitio, porque se conoce el sector y se sabe que existe cunetas a ambos lados de la calzada y que estos recolectores de agua desfogan en la alcantarilla, es que se toma la precipitación completa y se asume que toda se canaliza hacia el punto de aforo, esto finalmente contribuye a que el análisis sea más conservador y se ajuste con más precisión a la realidad.

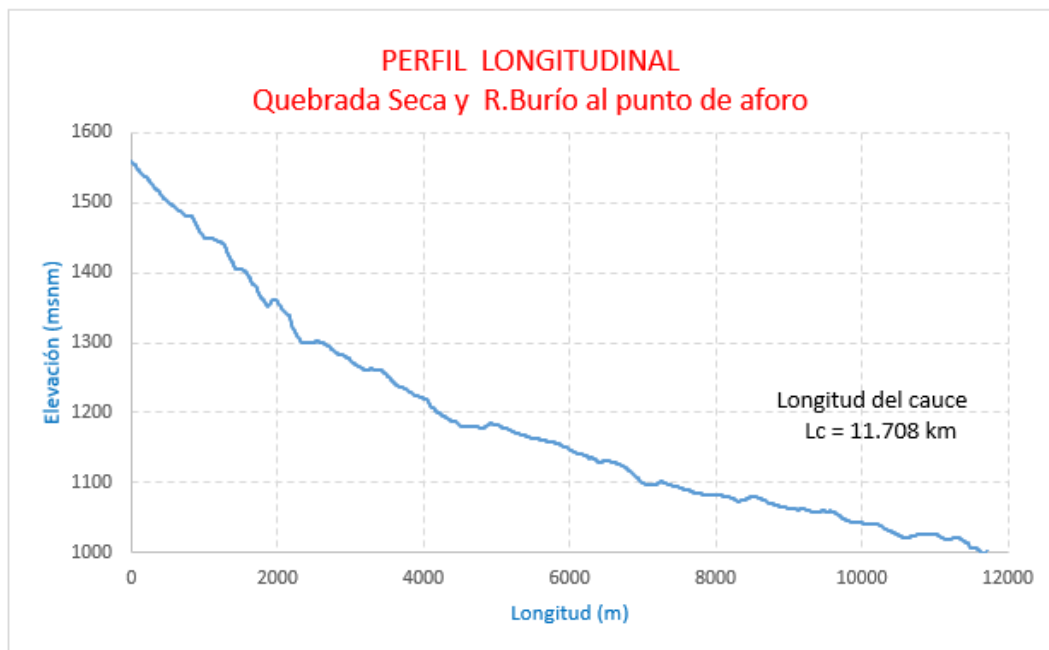


Figura 11.8. Perfil longitudinal de la Subcuenca Quebrada Seca y Río Burío.

Fuente: Propia, asistido por Excel con datos de QGIS.

La longitud del cauce se obtiene de QGIS y corresponde a $L_c = 11,708$ km al punto de aforo, el cual se encuentra 500 m aguas arriba de la alcantarilla, denominada como punto de interés.

11.4.2 Área de cobertura. Para la distribución de las coberturas o sectorización del suelo se establece subáreas de pastos, edificaciones, árboles y cultivos, tal como se muestra en la Figura 11.9.

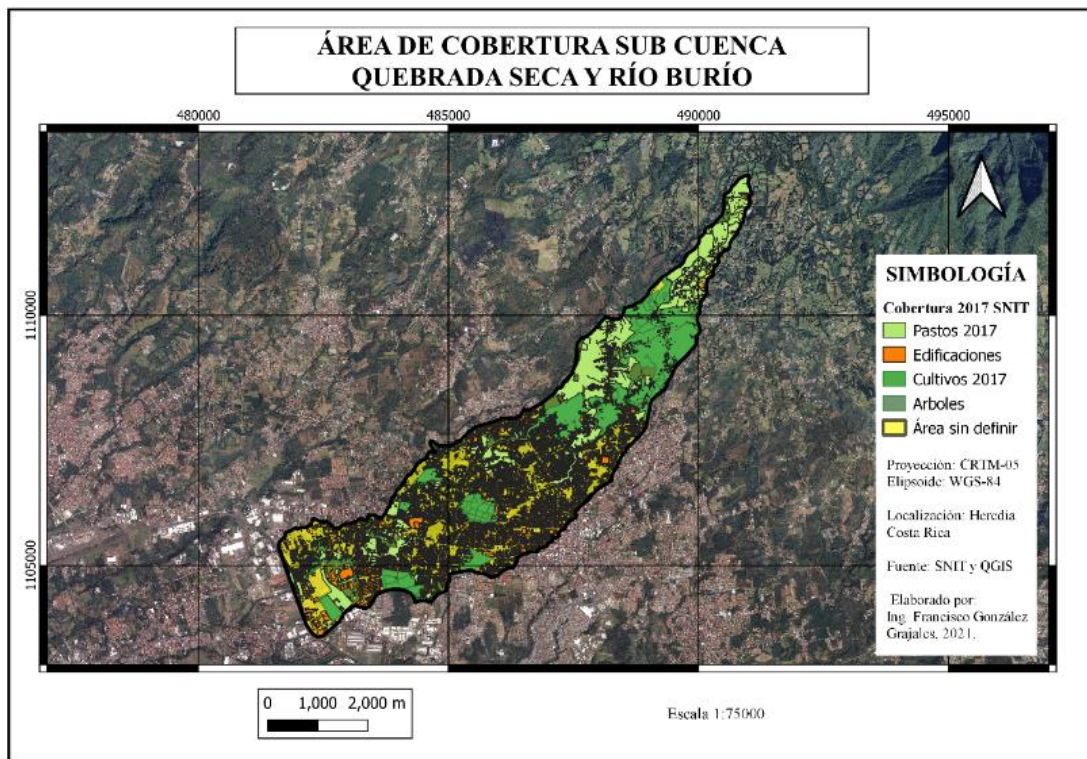


Figura 11.9. Clasificación del uso del suelo.

Fuente: Propia, asistido por QGIS.

Con la clasificación de las áreas de cobertura para el uso del suelo se obtienen los porcentajes de cada sector de la subcuenca, para cada clasificación de uso, se tiene un coeficiente de ponderado de escorrentía, según se indica en la Tabla 11.7.

En la Figura 11.9, se identifica un sector de color amarillo denominado “sin definir”, que representa un 32% del total de la cobertura.

CLASIFICACIÓN DEL USO DEL SUELO (2017)		
Pastos	4.43	20.41%
Edificaciones	5.37	24.75%
Árboles	0.77	3.55%
Cultivos	3.99	18.39%
Otros no definidos	7.14	32.90%
Total	21.7	100.00%

Tabla 11.7 Clasificación del uso del suelo.

Fuente: Propia, asistido por SNIT (2017) y QGIS.

Esta área de 32% se debe distribuir entre las áreas de crecimiento, a fin de tener una perspectiva del posible comportamiento para los próximos años, la idea es proyectar el crecimiento urbanístico de la subcuenca, esa área se distribuirá entre edificaciones (60%) y cultivos (40%), el resultado de esta suposición se tabula en mediante la Tabla 11.8.

CLASIFICACIÓN DEL USO DEL SUELO (Futura)		
Pastos	4.43	20.41%
Edificaciones	9.66	44.52%
Árboles	0.77	3.55%
Cultivos	6.84	31.52%
Otros no definidos	0	0.00%
Total	21.7	100.00%

Tabla 11.8. Clasificación del uso del suelo, SNIT (proyectada a futuro).

Fuente: Propia.

El incremento mayor en edificaciones se justifica a que es justamente el crecimiento urbanístico lo que provoca mayor impacto respecto a las inundaciones, tal como se ha mencionado anteriormente, darle un mayor peso porcentual hace que el modelo hidrológico tenga condiciones más agresivas, lo que al final se traduce en un modelaje más conservador.

Los coeficientes de escorrentía se obtienen de la Tabla 11.9, publicada en el Sistema de Información Jurídica de Costa Rica, para periodos de retorno de 25 y 50 años respectivamente.

Características de la superficie	Período de retorno (en años)	
	25	50
Áreas con desarrollo		
Asfalto	0.86	0.9
Concreto/techo	0.88	0.92
Superficies semipermeables (pavimentos porosos adoquines, filtrantes, zacate bloques, ect.)	0.49	0.52
Zonas verdes (condición promedio)		
Plano 0-2%	0.34	0.37
Promedio 2-7%	0.38	0.45
Superior a 7%	0.42	0.49
Áreas no desarrolladas		
Pastizales (lotes baldíos o cafetales)	0.42	0.45

Tabla 11.9 Coeficientes de escorrentía.

Fuente: Sistema Costarricense de Información Jurídica.

11.5 Análisis hidráulico

El análisis hidráulico cuenta con menos componentes que el análisis hidrológico, pero requiere de mayor información cuantitativa de los tramos que se requiere analizar. La topografía detallada del cauce o del sector del mismo que se va a modelar es fundamental y obtenerla es un requisito para este trabajo, esa información se obtiene mediante un registro fotográfico de alta resolución, generado por medio de vuelos no tripulados, la información se obtiene por medio de las ortofotografías, se depura con el software de SNIT, para obtener los pares ordenados de estación y elevación, junto con los DRL (Downstream Reach Lengths) de cada sección transversal, datos que se introducen a HEC-RAS para establecer cada una de las secciones transversales que se deben analizar. El modelo hidráulico utilizado es el del programa HEC-RAS. 5.0.7.

La información topográfica utilizada para generar el modelo hidráulico se obtiene con el equipo de captura uav: DJI, Phantom 4 pro v2, obturador de 1 plg, mecánico, estación RTK, para 3 cm de precisión, similar según se aprecia en la Figura 11.10.



Figura 11.10. Equipo para levantamiento ortofotográfico, DJI, Phantom 4 pro v2
Fuente: Imagen de internet.

La base de datos se levantan 500 m aguas arriba (punto de aforo), pasa por la alcantarilla y luego 500 m aguas abajo, según se indica mediante la Figura 11.11, se observa 46 estaciones distribuidas a lo largo de un kilómetro de distancia, cada estación corresponde a un corte transversal sobre el margen de la quebrada.



Figura 11.11. Ubicación de las estaciones para las secciones transversales.
Fuente: Propia, asistido por QGIS.

Se registra los datos que posteriormente de introducirá a HEC-RAS, previamente depurada por QGIS y la extensión RiverGis, de la cual obtenemos los DRL (Downstream Reach Lengths). Los DRL corresponden a tres parámetros (LOB, Channel, ROB) que se introducen junto con los pares ordenados de estación y elevación, para así obtener el contorno de la forma del perfil transversal de cada estación en el trayecto estudiado.

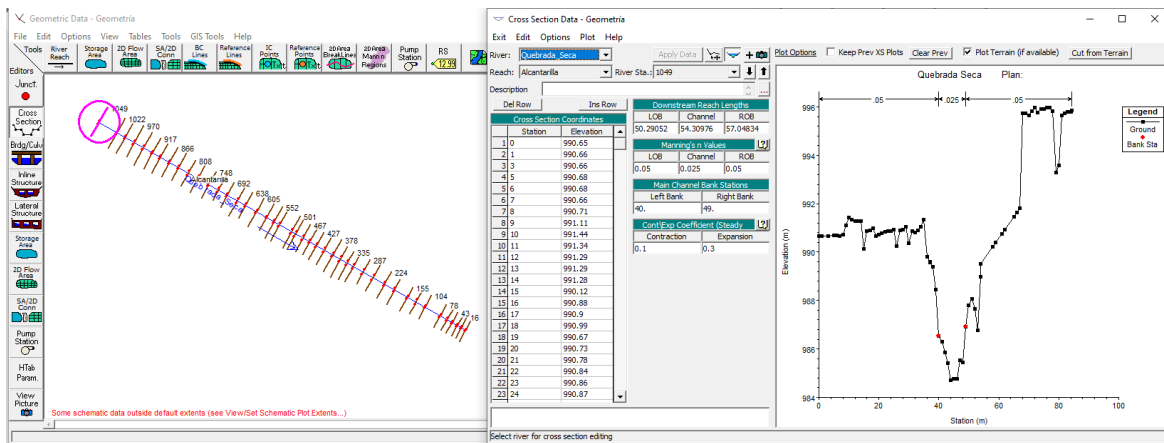


Figura 11.12. Forma del perfil transversal estación 1049, 550 m aguas arriba de la alcantarilla.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

En la imagen de la derecha en la Figura 11.12, se aprecia además los valores de Manning que se utilizan para la clasificación de las llanuras de inundación (0.05) el correspondiente al canal (0.025), también dos puntos rojos, que corresponden al margen del cauce en condiciones normales, esos puntos se establecen de acuerdo a los niveles observados durante las visitas al sitio (Left Bank and Right Bank), por último los coeficientes de contracción (0.1) y de expansión (0.3), parámetros que utiliza el programa en sus cálculos para determinar las pérdidas mediante la ecuación de la energía, esto sucede cuando un fluido es forzado a pasar por un medio diferente, que puede ser una alcantarilla o canal. El fluido experimenta algunos fenómenos que modifican su comportamiento físico, especialmente antes de ingresar, durante y después de salir de la alcantarilla. Existe varias formas de realizar estimaciones para definir el comportamiento de los caudales forzados a pasar por alcantarillas, uno de esas formas en la utilizada en HEC-RAS, por medio de la ecuación de Gaukler- Manning, para el cálculo de pérdidas de energía. De igual forma la definición conceptual de algunos parámetros se soporta mediante la teoría de Máximo Villón (2004) la

cual permite definir de una forma sencilla algunos parámetros que se utilizarán para la conformación de los tamaños de las áreas.

11.5.1 Longitud de expansión de flujo. La longitud de expansión, es la distancia mínima que se requiere para que el caudal se recupere a las condiciones originales después de que se ha sometido a una turbulencia ocasionada por el paso de una alcantarilla.

Para determinarlo se requiere de 6 pasos:

Paso 1.

Calcular de la relación $\frac{n_{ob}}{n_c}$ Ecuación (22)

Donde:

- n_{ob} , corresponde al coeficiente de rigurosidad de Manning de las llanuras de inundación, estimado un ponderado entre ambas.
- n_c , corresponde al coeficiente de rigurosidad de Manning del canal o alcantarilla que está constituida por una losa de concreto, para el cual el n_c que corresponde es de 0.025, entonces de la Ecuación (20), se obtiene

$$\frac{n_{ob}}{n_c} = (0.05+0.05) / (2*0.025) = 2$$

Paso 2.

Calcular la relación $\frac{b}{B}$ Ecuación (23)

Donde

- B , es la diferencia horizontal entre las cotas de las llanuras de inundación del margen izquierdo y derecho en la estación 537.
- b , es el ancho de la alcantarilla, en nuestro caso se tiene tres orificios de 3 metros cada uno, para un ancho efectivo de 9 m.



Figura 11.13. Proyección 537.19 y 501.06 de las secciones transversales antes y después de la alcantarilla.

Fuente: Propia.

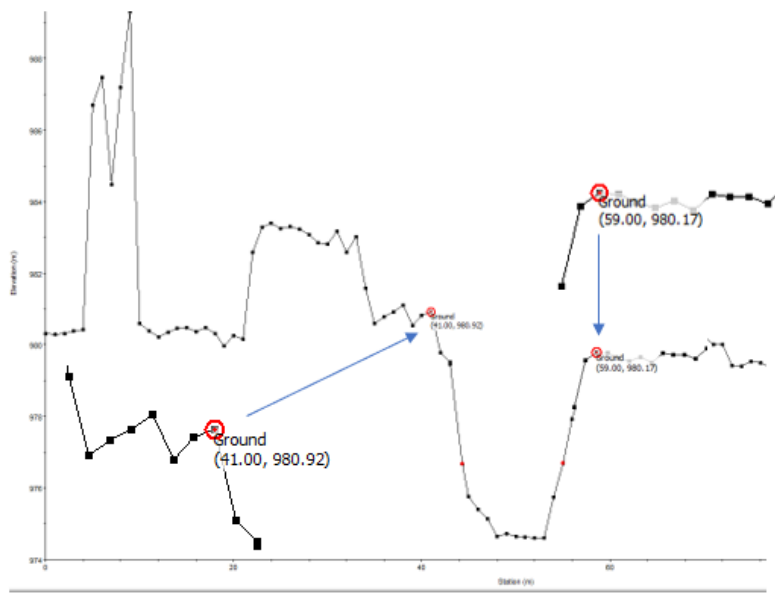


Figura 11.14. Perfil transversal estación 537.19, delimitando el ancho de las llanuras de inundación.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS

En este perfil transversal, tomando los valores de cada punto en los dos márgenes del cauce se obtiene

$$B = 59 - 41 = 18 \text{ m}$$

En la Figura 11.17, dibujada con Revit, se observa la forma actual de la alcantarilla, la cual esta constituida por tres orificios cuadrados de 3 m x 3 m, de forma que el ancho efectivo (b) es de 9 m, por lo que utilizando la ecuación (21) se obtiene:

$$\frac{b}{B} = \frac{9}{18} = 0.5$$

En otras palabras podemos decir que la alcantarilla tendrá un 50% de evacuación de caudal cuando se alcanza la cota de inundación de las llanuras laterales en ese sector de la cuenca.

Paso 3.

Para calcular la pendiente, se utilizará la siguiente ecuación:

$$S = 5280 * S_o \left(\frac{\text{pie}}{\text{milla}} \right) \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

- So, es la pendiente entre las secciones transversales que delimitan la ubicación de la alcantarilla, secciones transversales de las estaciones 537.19 y la 501.06 respectivamente, ver la Figura 11.13, la constante de 5280 (pie/milla) es un factor para la conversión de unidades, ya que posteriormente se requerirá usar este valor en la tabla 16.

Las secciones transversales de cada sección se aprecian la Figura 11.15, corresponde a la sección 537.19 y la Figura 11.16, para la sección 501.06, en esta última se puede observar que el perfil hacia los extremos esta al mismo nivel, esto es justamente por el movimiento de tierra que se realizó con la construcción de la autopista General Cañas, esa sección transversal se ubica justamente en ese sector.

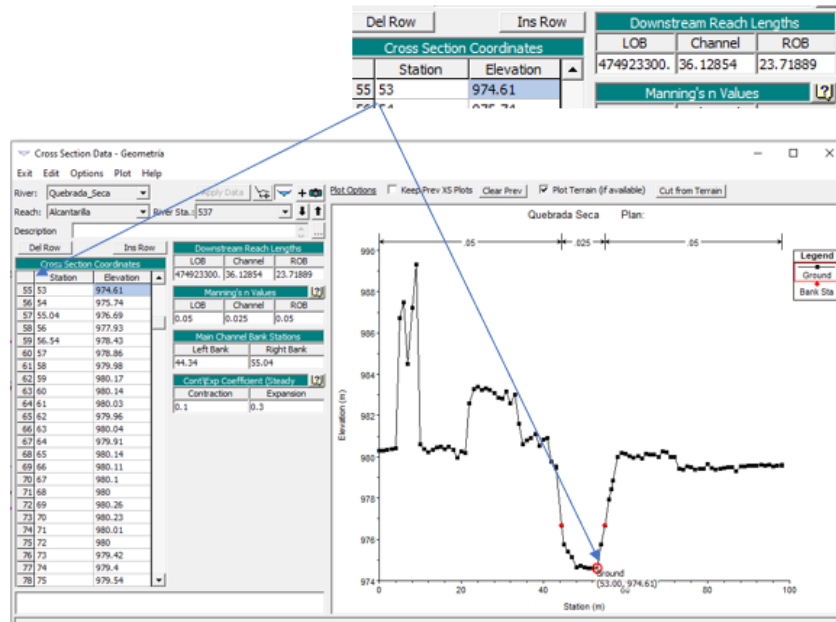


Figura 11.15. Perfil de la estación 537.19, punto más bajo del canal.
Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

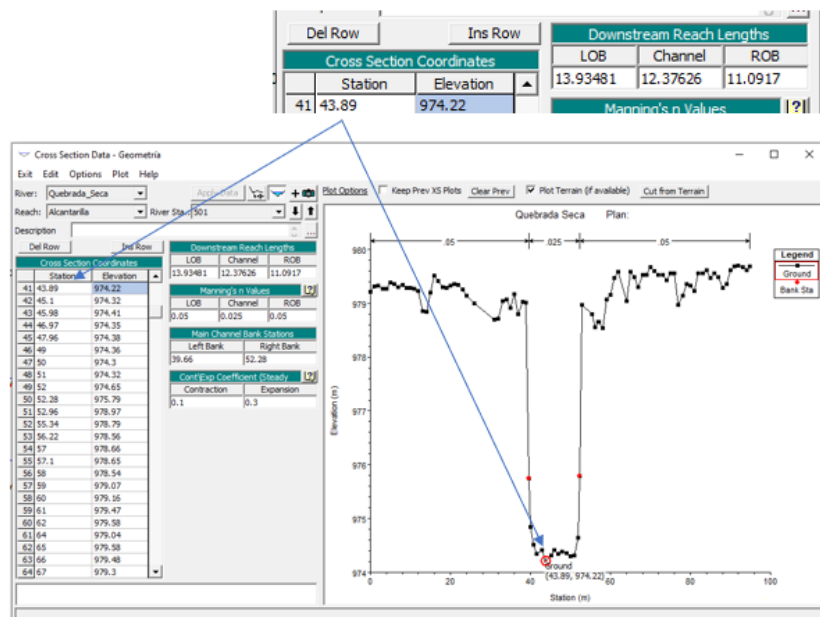


Figura 11.16. Perfil de la estación 501.06, punto más bajo del canal.
Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

La pendiente se determina calculando la diferencia entre las alturas de las secciones transversales de ambas estaciones, dividido entre la distancia de separación del canal, que es justamente 36.128 m, entonces de la Ecuación (22) se obtiene:

$$S = 5280 * \frac{(974.61 - 974.22)}{36.128} = 56.99 \left(\frac{\text{pie}}{\text{milla}} \right)$$

Paso 4. Estimar de rango de expansión (Re) con asistencia la Tabla 16.

Con los datos previamente obtenidos se obtiene el rango de expansión y por medio de una ponderación se define el valor buscado, para esto se utiliza la Tabla 11.10 y los rangos de expansión, según los datos anteriores.

		nob / nc = 1	nob / nc = 2	nob / nc = 4
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 - 3.6	1.3 - 3.0	1.2 - 2.1
	5 ft/mile	1.0 - 2.5	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
	10 ft/mile	1.0 - 2.2	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
b/B = 0.25	S = 1 ft/mile	1.6 - 3.0	1.4 - 2.5	1.2 - 2.0
	5 ft/mile	1.5 - 2.5	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
	10 ft/mile	1.5 - 2.0	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
b/B = 0.50	S = 1 ft/mile	1.4 - 2.6	1.3 - 1.9	1.2 - 1.4
	5 ft/mile	1.3 - 2.1	1.2 - 1.6	1.0 - 1.4
	10 ft/mile	1.3 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 1.4

Tabla 11.10 Rango para radios de expansión.

Fuente: Villón (2004).

El resultado se puede apreciar en la siguiente tabla.

		nob / nc = 1	nob / nc = 2	nob / nc = 4
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 - 3.6	1.3 - 3.0	1.2 - 2.1
	5 ft/mile	1.0 - 2.5	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
	10 ft/mile	1.0 - 2.2	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
b/B = 0.25	S = 1 ft/mile	1.6 - 3.0	1.4 - 2.5	1.2 - 2.0
	5 ft/mile	1.5 - 2.5	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
	10 ft/mile	1.5 - 2.0	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
b/B = 0.50	S = 1 ft/mile	1.4 - 2.6	1.3 - 1.9	1.2 - 1.4
	5 ft/mile	1.3 - 2.1	1.2 - 1.6	1.0 - 1.4
	10 ft/mile	1.3 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 1.4

Tabla 11.11 Rango para radios de expansión, selección.

Fuente: Propia, asistido por Villón (2004).

El rango de expansión (Re) y se realiza un ponderado para definir que el Re = 1.35.

Paso 5.

Definirla de longitud de obstrucción (L_obs).

Este dato se obtiene directamente de las dimensiones de la alcantarilla, medidas en el sitio, es importante mencionar que si son diferentes se debe estimar un ponderado, sin embargo, para el caso en estudio ambas longitudes son iguales y miden 6 m cada una, por tanto, la dimensión de la longitud L_obs = 6 m.

Paso 6.

Para la longitud de expansión (Le) se utiliza la siguiente fórmula:

$$Le = Re * L_{obs} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Utilizando los valores de Re y L_obs, previamente obtenidos, sustituyendo en la Ecuación (23) se obtiene:

$$Le = 1.4 * 6 = 8.57 \text{ m}$$

11.5.2. Longitud de contracción de flujo. La longitud de contracción de flujo, es la distancia mínima que se requiere para que el caudal logre ingresar a la alcantarilla de forma adecuada.

Para determinarlo se requiere de 5 pasos:

Paso 1.

Calcular de la relación $\frac{n_{ob}}{n_c}$ Ecuación (22)

Al tratarse del mismo punto de análisis el resultado de esta relación corresponde al dato previamente definido de

$$\frac{n_{ob}}{n_c} = (0.05+0.05) / (2*0.025) = 2$$

Paso 2.

Calcular la pendiente. La pendiente es tiene el mismo resultado del paso 3 para el cálculo de la longitud de expansión, según la Ecuación (24).

$$S = 5280 * S_o \left(\frac{\text{pie}}{\text{milla}} \right) = 56.99 \text{ pie/milla}$$

Paso 3.

Estimar de rango de contracción (R_c) con asistencia la Tabla 17;8.

	nob / nc = 1	nob / nc = 2	nob / nc = 4
S = 1 ft/mile	1.0 - 2.3	0.8 - 1.7	0.7 - 1.3
5 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.5	0.7 - 1.2
10 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.4	0.7 - 1.2

Tabla 11.12 Rango para radios de compresión.

Fuente: Villón (2004).

Con los datos previamente obtenidos se obtiene el rango de compresión y por medio de una ponderación se define el valor buscado.

	nob / nc = 1	nob / nc = 2	nob / nc = 4
S = 1 ft/mile	1.0 - 2.3	0.8 - 1.7	0.7 - 1.3
5 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.5	0.7 - 1.2
10 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.4	0.7 - 1.2

Tabla 11.13 Rango para radios de expansión, selección.

Fuente: Propia, asistido por Villón (2004).

Con la asistencia de la tabla 19, se determina el rango de compresión (R_c) y por medio de un ponderado se define a $R_c = 1.1$.

Paso 4. Calcular la longitud de expansión L_{exp} , el cual es igual a valor de L_{obs} , o sea que $L_{exp} = L_{obs} = 6$ m.

Paso 5. Calcular el valor de longitud de contracción.

$$L_c = R_c * L_{exp} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Sustituyendo los datos, se obtiene el valor de la longitud de contracción

$$L_c = R_c * L_{exp} = 1.1 * 6 = 6.6 \text{ m}$$

En la Figura 11.17, se puede apreciar la forma en que actualmente se haya la alcantarilla, se compone por los tres orificios cuadrados de 3m x 3 m, y tiene un largo de 19 m. En la parte aguas arriba se tiene un muro de gaviones que permite separar el caudal del lindero de la calzada, para evitar un desbordamiento directo en ese sector. Las transiciones de contracción y expansión se delimitan claramente a la entrada y salida del caudal y frecuentemente se observa en la boca de la alcantarilla, basura y maleza que obstruye parcialmente el flujo de agua, también se aprecia un nivel de caudal bajo en condiciones normales de operación y hacia los lados existe cunetas que recogen las aguas a lo largo de un tramo de la carretera de aproximadamente 1 km y las traen como descarga a la alcantarilla.

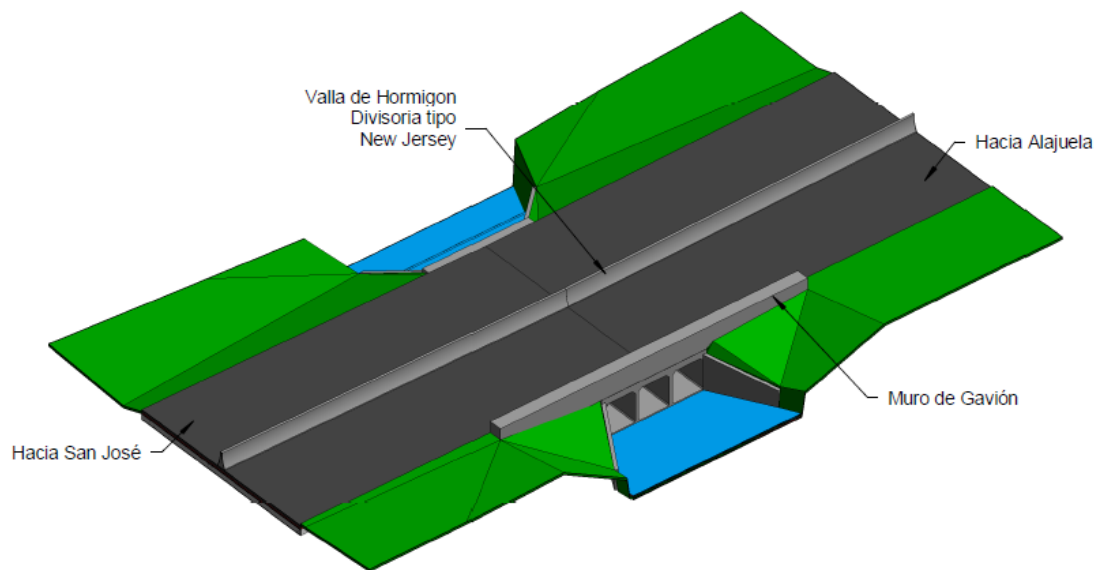


Figura 11.17. Vista tres dimensiones de la alcantarilla actual.

Fuente: Propia, asistido por Revit.

11.5.3 Ubicación de la alcantarilla en el cauce. La alcantarilla se ubica entre las estaciones 537.19 y 501.06, del sitio se sabe que la salida de la alcantarilla coincide directamente con la estación 501.06, por lo que está es la referencia que se utilizará para delimitar las secciones de la alcantarilla.

Para lograr una ubicación que se ajuste a la realidad de deberá interpolar las secciones para que en el cauce se represente cada sección y que coincida con las dimensiones reales y las zonas de contracción, obstrucción y expansión, para esto se sigue una serie de pasos que se detallan a continuación.

Paso 1. Interpolar las secciones 501.06 y 488.69 para una separación a 3 m desde la sección 501.06, distancia que corresponde a la longitud de transición del lado de la expansión del flujo, el resultado corresponde a una estación que se ubica a una altura de 498.06 m.s.n.m.

Paso 2. Interpolar las secciones 488.69 y la sección 467.22 con una distancia de 6.6 m medida desde la sección 488.69, para definir la distancia correspondiente a la zona de expansión.

Paso 3. Interpolar la estación 537.19 y la estación 501.06 dejando una distancia de 19 m desde la estación 501.06, el resultado corresponde a la estación 520.06 m.s.n.m.

Paso 4. Interpolar las secciones 537.19 y 520.06 para una separación a 3 m desde la sección 520.06, distancia que corresponde a la longitud de obstrucción del lado de la contracción del flujo, el resultado corresponde a una estación que se ubica a una altura de 523.06 m.s.n.m.

Paso 5. Interpolar la estación 537.19 y la estación 523.06 dejando una distancia de 6 m desde la estación 523.06, el resultado corresponde a la zona de compresión y es la estación 529.06 m.s.n.m.

A modo de gráfico, en la Figura 11.18, se puede observar cada una de las secciones anteriormente mencionadas.

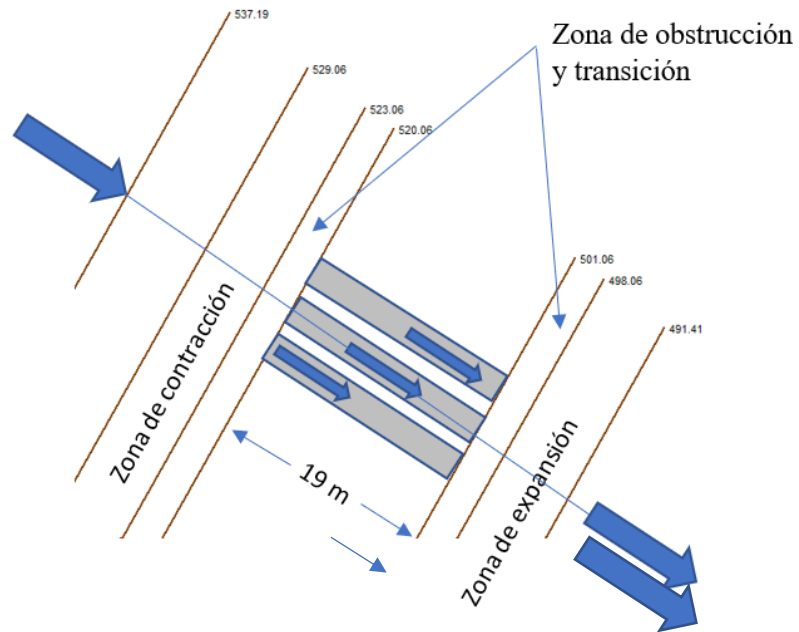


Figura 11.18. Ubicación de las alcantarillas en el cauce de la quebrada, situación actual.
Fuente: Propia.

En la Figura 11.19, se aprecia las secciones transversales de los linderos de las alcantarillas, así como una imagen de la entrada y la salida del flujo por esta estructura, note que existe una separación entre ellas, colocada para darle rigidez y fuerza axial, debido a que por encima pasan muchos vehículos.

En la corrida en HEC-RAS se debe tener presente que para ese tramo los valores de los coeficientes de contracción y de expansión deben ser de 0.6 y 0.8 respectivamente, también el coeficiente de rugosidad de Manning utilizado sería de 0.014, en virtud de que la alcantarilla está construida con concreto, dato que se obtiene de la Tabla 6.

La diferencia de nivel entre la alcantarilla y el cauce que se aprecia en la imagen inferior de Figura 11.19, se dejó para disminuir la pendiente en el paso de agua y frenar la velocidad del cauce a la salida de la alcantarilla, esto es una buena práctica ya que esa diferencia permite disminuir la erosión por arrastre en la estructura.

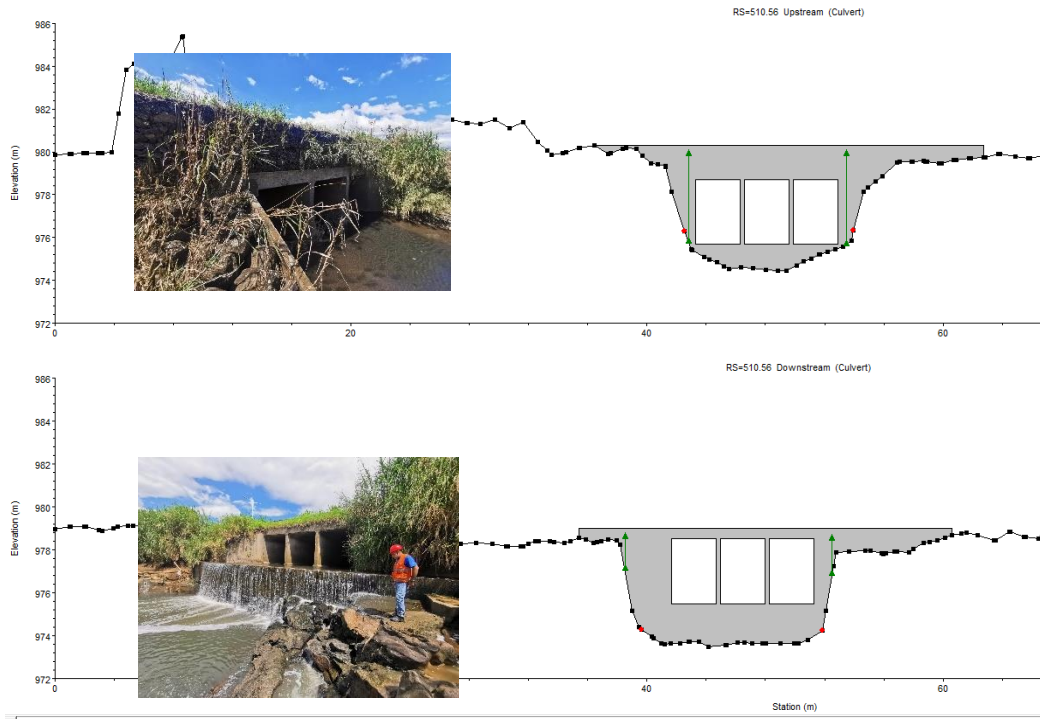


Figura 11.19. Corte transversal de las alcantarillas actuales, entrada y la salida de la estructura.

Fuente: Propia.

11.5.4 Área de flujo no efectiva. Corresponde a sectores del área del flujo que no es transportado de forma eficiente, se puede encontrar aguas arriba y aguas abajo de la estructura, en las alcantarillas esta área se ubica a los lados de los orificios de ingreso y egreso del flujo, en la figura 11.19 se identifican con flechas que van en sentido vertical hasta la altura o margen de la estructura, la ubicación se determina mediante la observación y el comportamiento del caudal en el sitio de interés.

11.6 HEC-RAS y períodos de retorno utilizados

La corrida mediante HEC-RAS se realiza tomando en cuenta los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, de acuerdo al modelaje hidrológico propuesto anteriormente por medio de QGIS, datos que se resumen en la siguiente figura.

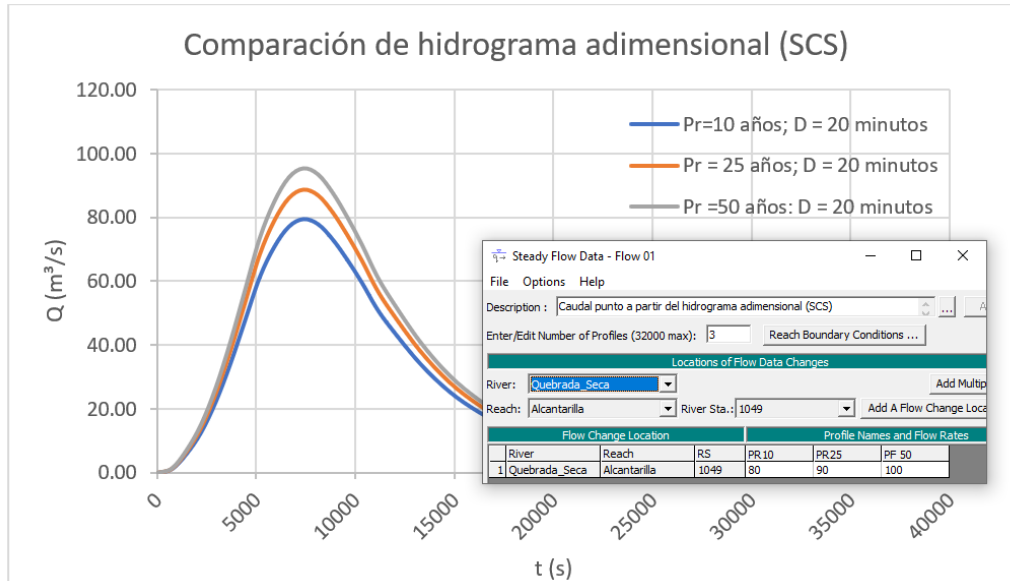


Figura 11.20. Hidrograma adimensional (QGIS) del modelado hidrológico y tabla de datos ingresados a HEC-RAS para el modelado hidráulico.

Fuente: Propia.

Tal como se observa en la Figura 11.20, el caudal pico que se ingresa a HEC-RAS es de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ para 10 años de periodo de retorno, $90 \text{ m}^3/\text{s}$ para 25 años y $100 \text{ m}^3/\text{s}$ para 50 años, una corrida al modelaje hidráulico con estos datos, arroja una imagen del comportamiento hidrodinámico del sector en estudio, según se muestra en la figura siguiente.

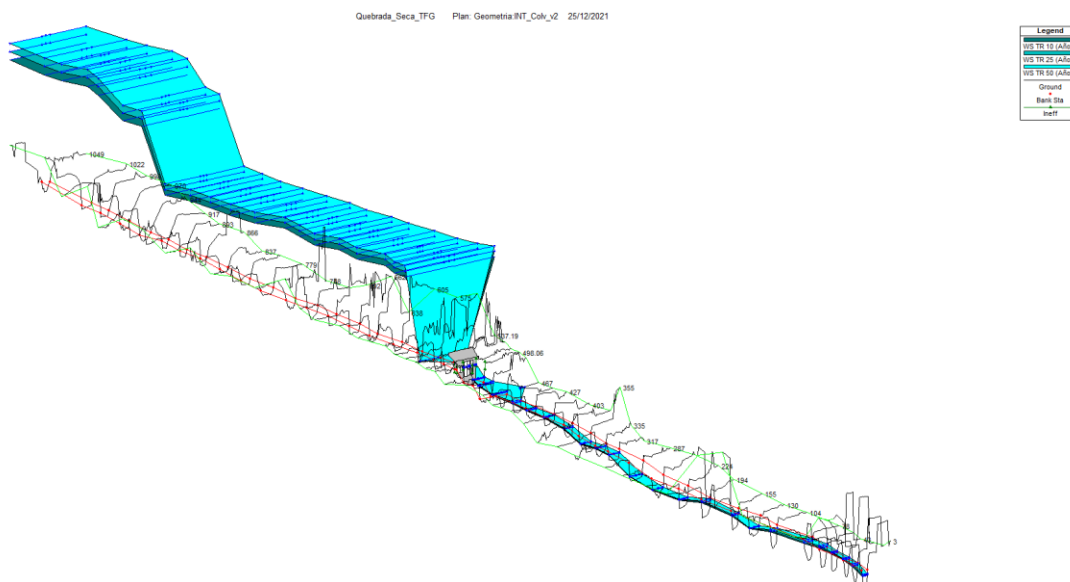


Figura 11.21. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, sistema actual.

Fuente: Propia.

11.6.1 Capacidad del modelo actual de la alcantarilla. La capacidad de la alcantarilla (estación 523.06) se determina por medio de la fórmula de caudal (ecuación 2), que permite estimar el caudal en función área transversal y la por velocidad del fluido, de forma que para tres orificios de 9 m^2 cada uno, dará un área efectiva de 27 m^2 y la velocidad de 1.79 m/s , obtenida del software, el caudal estimado es de $48.33 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que es mucho menor al valor pico introducido al mismo programa. Este simple razonamiento nos permite determinar que la alcantarilla no es apropiada para las condiciones a las que podría verse sometida. También con los resultados que se obtiene de la corrida del programa, se puede extraer el valor del área del flujo y compararlo con el área efectiva de 27 m^2 , de forma que si el dato obtenido en HEC-RAS en menor a 27 m^2 , la alcantarilla es apropiada y si es mayor la alcantarilla no cumple respecto al área.

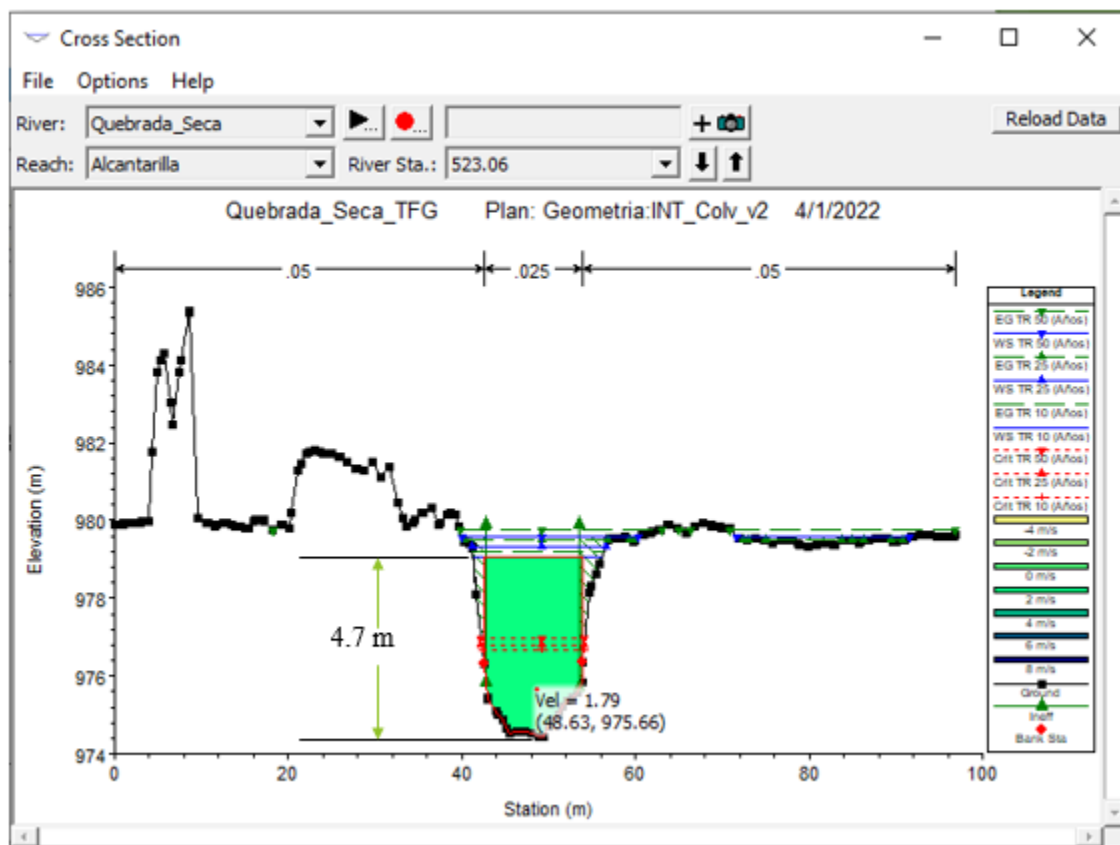


Figura 11.22. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, estación 523.06.

Fuente: Propia.

Según los resultados obtenidos la capacidad máxima para la alcantarilla existente es de 48.33 m³/s, lo que equivale a un 54% con respecto a los 80 m³/s estimados para el periodo de retorno correspondiente a 10 años, por lo que para periodos de retorno mayores el comportamiento será menos favorable, lo que demuestra que el diseño actual es deficiente y que no satisface un comportamiento aceptable en cualquiera de las posibles opciones de periodo de retorno. Por otro lado, la altura máxima de la alcantarillas de 3 m y el tirante requerido en estas condiciones es de 4,7 m según se muestra en la Figura 11.22. Otra forma de determinar la incapacidad de la alcantarilla para un caudal pico de 80 m³/s, es verificando los resultados numéricos que se obtienen de HEC-RAS, en cual se obtiene entre otros valores el área del flujo requerido y la velocidad del caudal, datos que se analizará posteriormente y se pondrá en evidencia que la alcantarilla no es apropiada.

12. Rediseño de la alcantarilla

12.1 Área efectiva de la nueva alcantarilla

Con la esta información obtenida en la sección 11.5.5 y utilizando el mismo concepto de la ecuación (2), se puede realizar un dimensionamiento preliminar para definir el área transversal para una nueva propuesta de alcantarilla, de forma que:

$$Q = A * v \quad (m^3/s) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para un caudal de 80 m³/s y una velocidad de aproximadamente 2 m/s se requiere un área de sección transversal de 40 m², por lo tanto, una sección transversal tentativa para la nueva alcantarilla puede ser de 50 m², formada por un rectángulo de 10 m x 5 m.

Con esta nueva configuración se realizará nuevamente el modelaje hidráulico por medio de HEC-RAS, para verificar la velocidad del caudal y ajustar el modelo propuesto para que cumpla con exigencias de un caudal pico mayor a 80 m³/s.

12.2 Modificación de las secciones transversales involucradas

Como primer paso, se debe realizar un corte a las secciones transversales existentes, modificar las llanuras de inundación, para dar más espacio a la estructura en su ancho, además de dragar ese sector de la quebrada para ganar espacio en la altura efectiva, aquí se debe tener claro que la calzada deberá levantarse al menos 2 metros y para lograr una altura de 6 metros

entre el cauce y la calzada, además se deberá proponer la instalación de muros de retención a base de gaviones y lo que se requiera de forma que la obra nueva sea segura. La propuesta de la nueva estructura, implicaría modificaciones importantes en el área aledaña a la alcantarilla, cambios que se mencionarán posteriormente a modo de sugerencia, sin entrar en detalle del diseño, ya que eso no es parte de nuestro alcance.

La primera sección transversal que se debería intervenir corresponde a la estación 537.19, modificando las llanuras de inundación, ampliando el canal, el barrido se representa en la Figura 12.1 y comprende una ampliación de las laderas de inundación y dragado del canal.

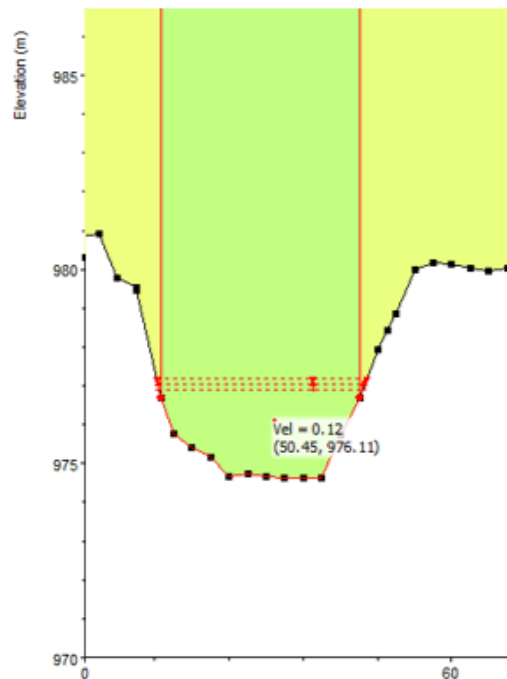


Figura 12.1. Sección transversal estación 537.19 modificada.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

La sección 537.19 se ubica en el área de contracción del cauce, justo antes de ingresar a la alcantarilla, en el modelado se aprecia una velocidad de 0.12 m/s para el sector marcado en verde y de 0.04 m/s para el área de amarillo, velocidades bajas que evidencian que el caudal se almacena.

Si se analiza las secciones transversales siguientes, por ejemplo, en la estación 523.06, que se ubica justamente a la entrada de la alcantarilla, se puede observar que la velocidad aumenta a 2.03 m/s, valor aceptable como parámetro de diseño, el cual debe ser menor a 5 m/s para evitar problemas por arrastre y se observa un tirante de 4.0 m.

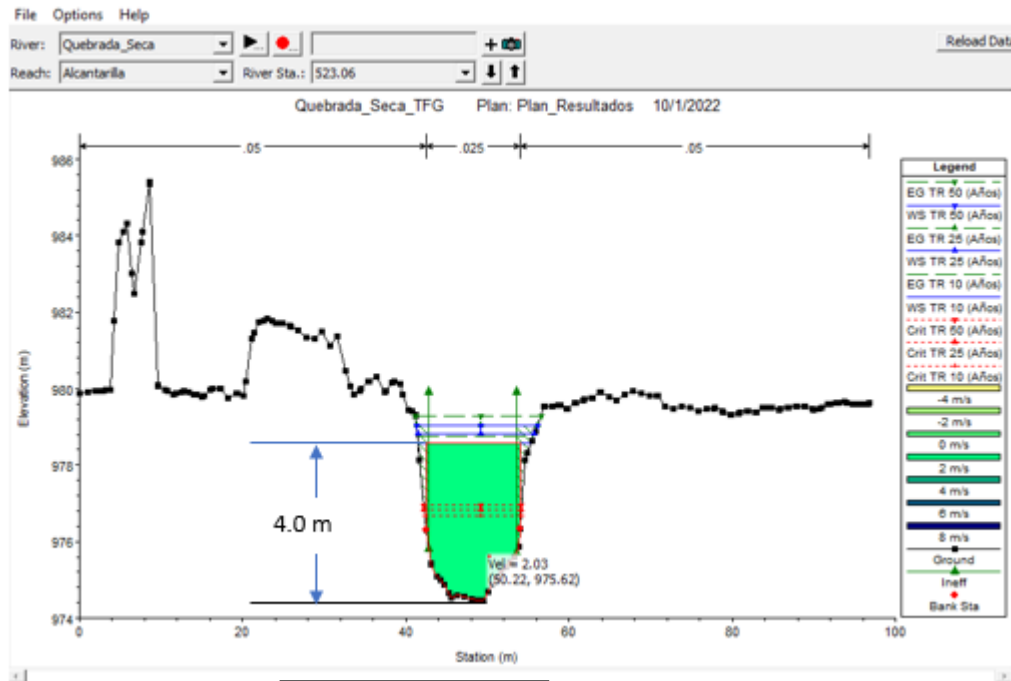


Figura 12.2. Respuesta del modelado hidráulico modificada mediante HEC-RAS, para la estación 523.06, periodo de retorno de 10 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

De igual forma se puede observar el comportamiento del caudal a la salida de la alcantarilla, según la Figura 12.3, en la estación 498.06, la velocidad de caudal es de 3.96 m/s, dato que es apropiado y que garantiza que no habrá exceso de fricción por alta velocidad de caudal.

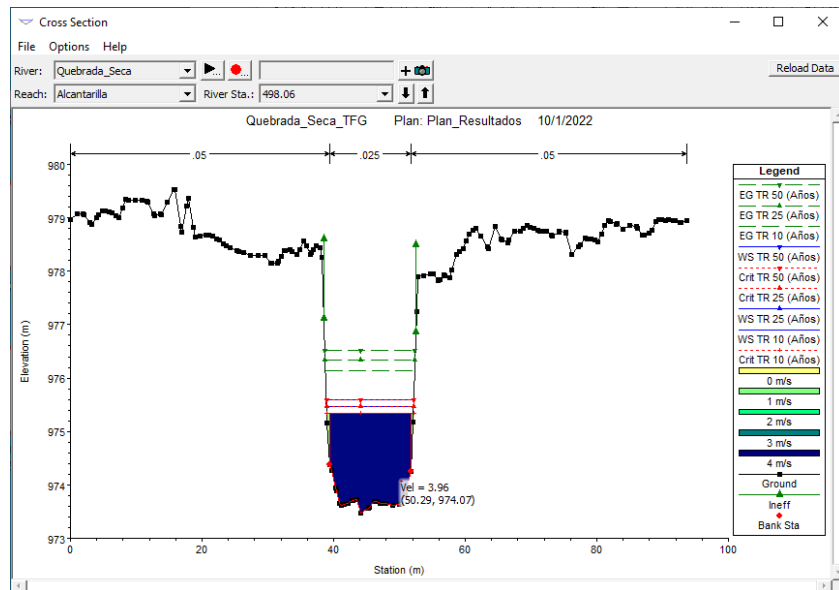


Figura 12.3. Respuesta del modelado hidráulico modificada mediante HEC-RAS, para la estación 498.06.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Agua arriba se encuentra la estación 510.56, Figura 12.4, sobre la cual también se debe realizar modificaciones a nivel de llanuras de inundación y además bajar el nivel aproximadamente 1 m, para ganar altura respecto al nivel de la calzada.

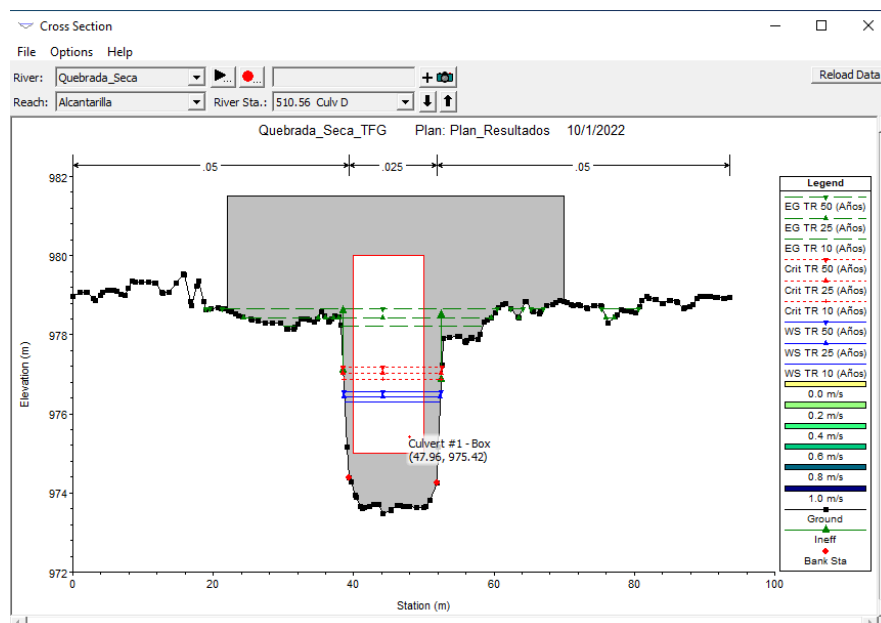


Figura 12.4. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la estación 510.56 con períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Con esta modificación se estabilizó el problema de inundación en la alcantarilla, lo que finalmente sugiere intervenir ese tramo e implementar la modificación. Esta solución implica un cambio fuerte a nivel de infraestructura, ya que la alcantarilla actual debe ser demolida y sustituida por otra de mayor capacidad o incluso valorar la posibilidad de construir un puente. Es importante mencionar que el análisis propuesto hasta este momento corresponde a modificaciones de la morfología del tramo del cauce, y es justamente ese tramo el que coincide con la intersección de la Autopista General Cañas, situación que merece ser considerada por el impacto que representa el trabajo que se propone como alcance de este proyecto.

Otra modificación que se debe analizar corresponde a la estación 488.69, bajando también el nivel, por medio de dragado para ampliar la cobertura de las llanuras de inundación y así evitar desbordamientos en el sector aledaño aguas abajo del cruce previamente intervenido, la modificación se ilustra mediante la Figura 12.5.

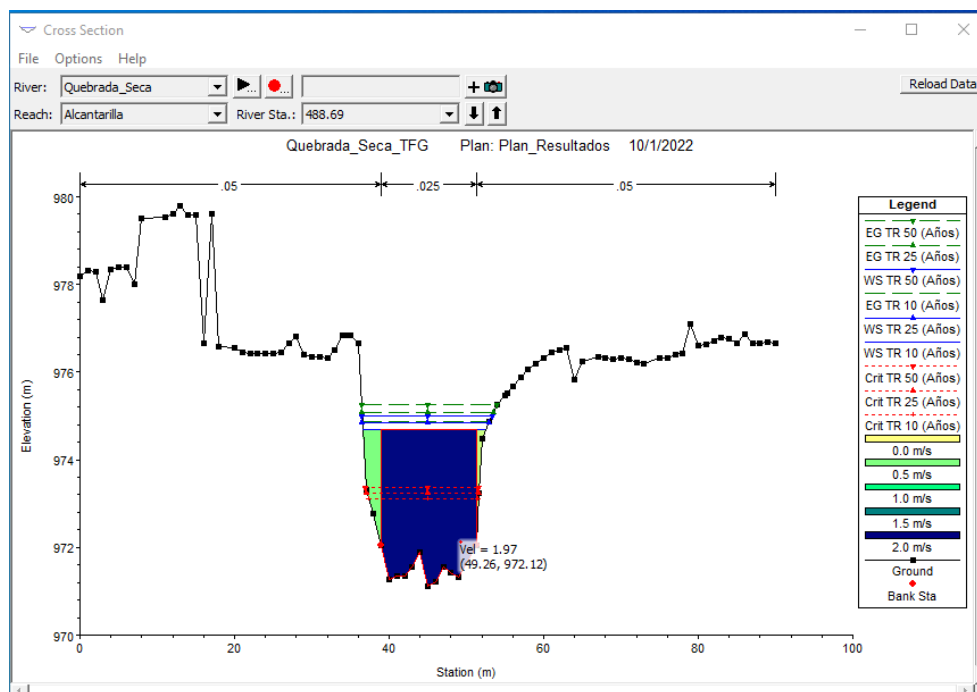


Figura 12.5. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la estación 488.69 modificada con períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Si analizamos la imagen ampliada de la sección 523.06 (Figura 12.6), se puede determinar dos parámetros de importancia que nos darán información relevante, velocidad y tirante efectivo.

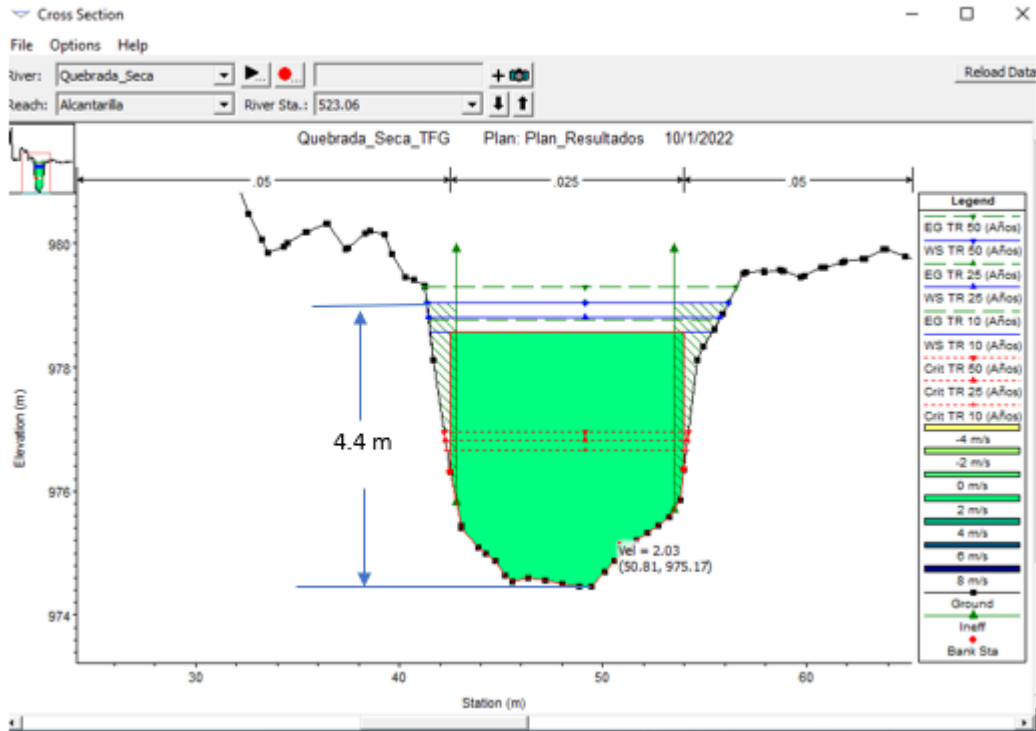


Figura 12.6. Respuesta del modelado hidráulico modificada mediante HEC-RAS, para la estación 523.06 con períodos de retorno de 50 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

La velocidad de caudal a la salida en el tramo se establece en 2.03 m/s y el otro parámetro corresponde a la diferencia de niveles entre el fondo del cauce y el tirante crítico para un período de retorno de 50 años, distancia mínima (4.4 m) que debería presentar la nueva estructura.

Con estas modificaciones en las estaciones mencionadas anteriormente, se hace una corrida del programa HEC-RAS para observar la respuesta del nuevo modelado y los resultados a modo de imagen se pueden apreciar en la siguiente figura.

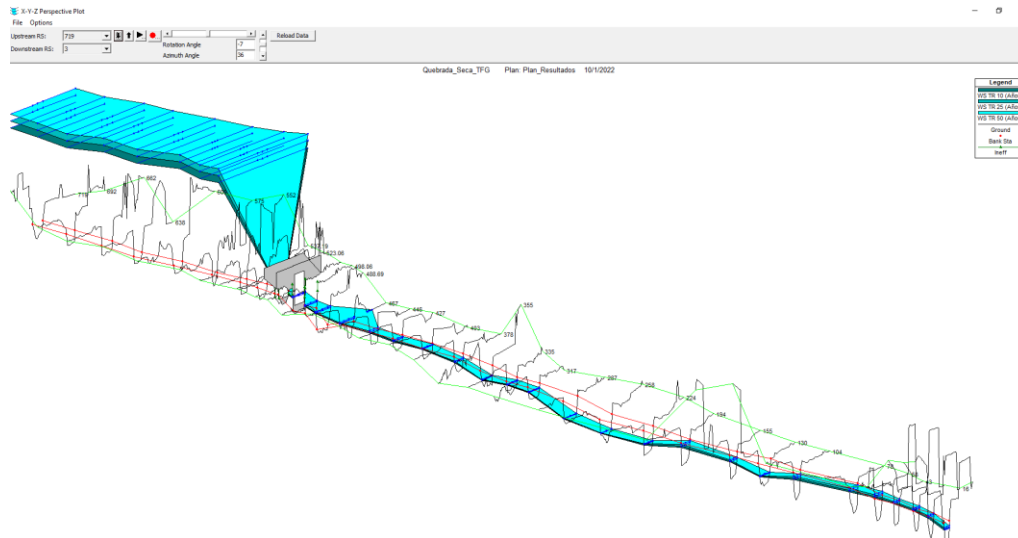
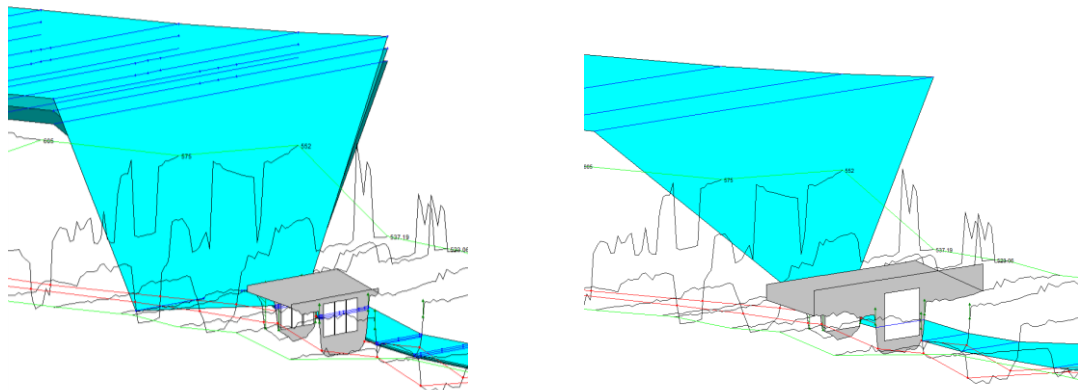


Figura 12.7. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para el tramo en estudio, períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

13 Análisis de resultados

13.1 Modelo actual y modelo propuesto



a) Modelo actual

b) Modelo propuesto

Figura 13.1. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, a) modelo actual, b) modelo propuesto.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

El modelo actual, según se muestra en la Figura 13.1, se compone de tres alcantarillas de 3 m de ancho por 3 m de alto, mientras que el modelo propuesto es de una sola alcantarilla de 10 metros de ancho por 5 metros de altura.

13.2 Comparación entre la sección transversal 523.06 del modelo propuesto contra 523.06 del modelo actual.

Esta sección corresponde a la entrada de la alcantarilla, se estudiarán en las mismas condiciones de precipitación y periodos de retorno, para identificar las diferencias.

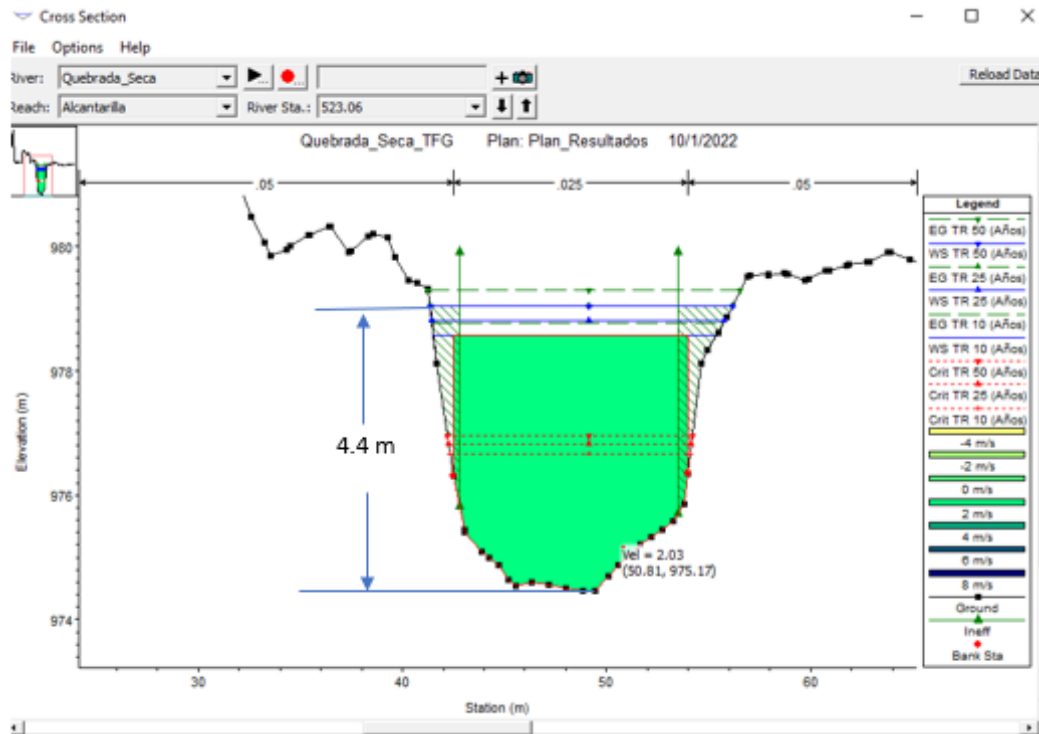


Figura 13.2. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06 del modelo modificado.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

La estación 523.06 modificada resulta con una velocidad de caudal de 2.03 m/s y presenta un tirante de aproximadamente 4.4 m, para un periodo de retorno de 50 años, esta misma estación, pero para la alcantarilla actual, presenta una velocidad de 1.79 m/s y un tirante de 4.7 m según se aprecia en la siguiente figura.

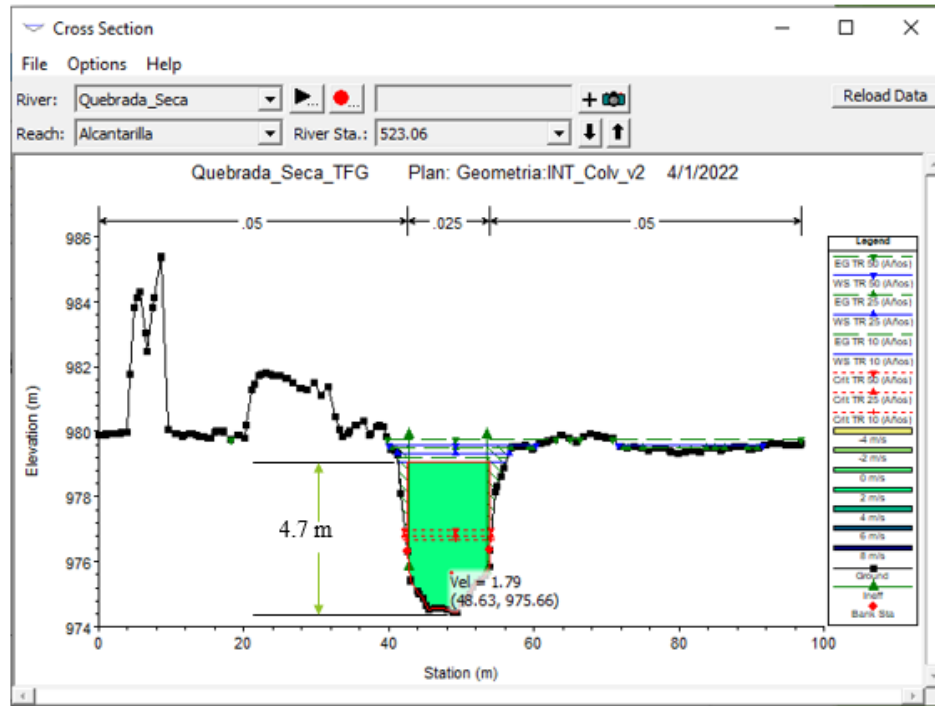


Figura 13.3. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06 del modelo actual.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Esta condición de peralte de 4.7 m, demuestra que la alcantarilla tal como se encuentra actualmente es deficiente y no cumple las dimensiones apropiadas para permitir el paso de un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, que pudiera presentarse producto de una avenida máxima, de igual forma se aprecia que la respuesta no difiere si el periodo de retorno es de 10, 25 o 50 años, o sea que, si la alcantarilla no es apropiada para un tiempo de retorno de 10 años, no lo será para tiempos de retorno mayores.

En la Figura 13.3, se presenta la sección transversal resultante del modelo propuesto, se logra apreciar que aumentando la profundidad del cauce (dragado) y modificando el ancho del canal se mejora el comportamiento del mismo y se obtiene una adecuada circulación de las aguas por este sector de la quebrada para periodos de retorno de hasta 50 años.

13.3 Sección transversal 498.06, modelo propuesto, periodo de retorno de 10 años.

La velocidad de caudal de 3.96 m/s , corresponde a un parámetro de diseño muy favorable confirma que esta propuesta cumple a satisfacción y que resuelve apropiadamente el problema de la inundación en la quebrada.

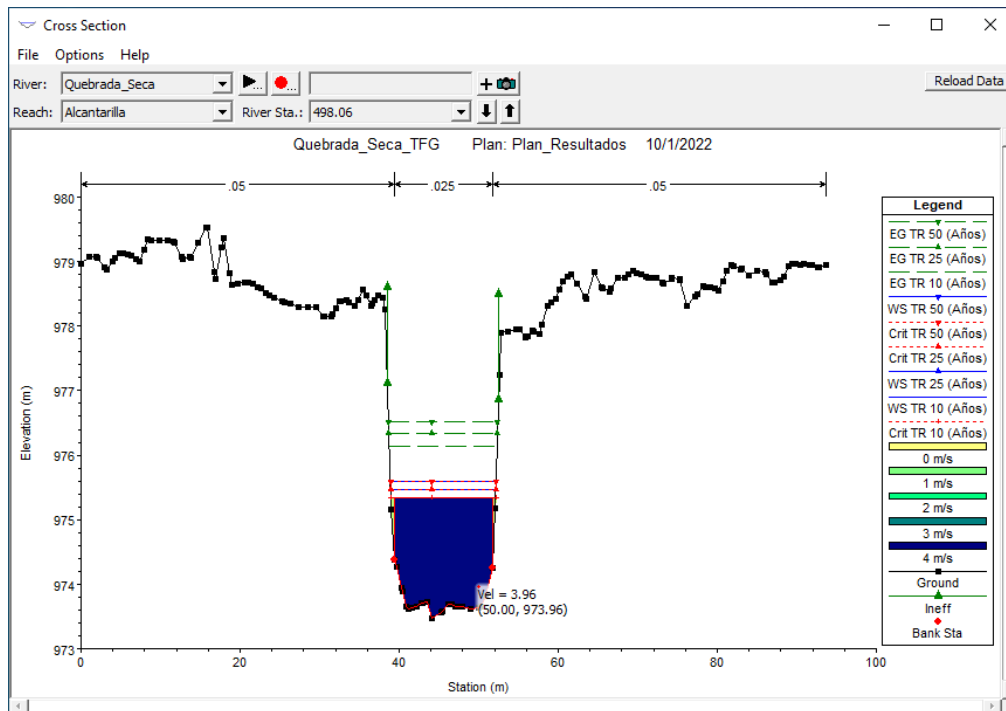


Figura 13.4. Respuesta del modelado hidráulico mediante HEC-RAS, para la sección transversal 498.06 del modelo propuesto, con un periodo de retorno de 10 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Es importante mencionar que esta posible solución de dragar las llanuras de inundación, merece un análisis más profundo, debido a que implementarla puede traer consecuencias muy serias aguas abajo y trasladar el problema a otros sitios de menor altura y con condiciones de superficies más llanas, asunto que podría terminar con una inundación de magnitudes importantes y es responsabilidad del ejercicio profesional tomar en cuenta todos los escenarios, de forma que se debe estudiar las consecuencias al modificar esta alcantarilla. Adicionalmente se debe indicar que por este sector pasa el oleoducto de RECOPE, asunto que merece especial cuidado.

Quebrada_Seca_TFG Plan: Geometria.INT_Colv_v2 4/1/2022

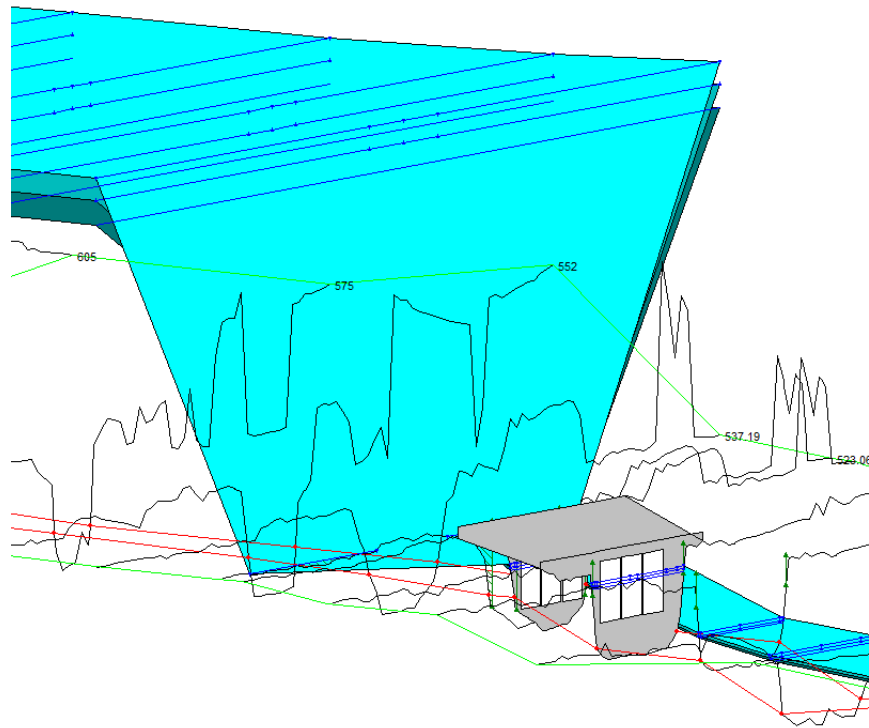


Figura 13.5. Respuesta del modelado hidráulico actual, mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

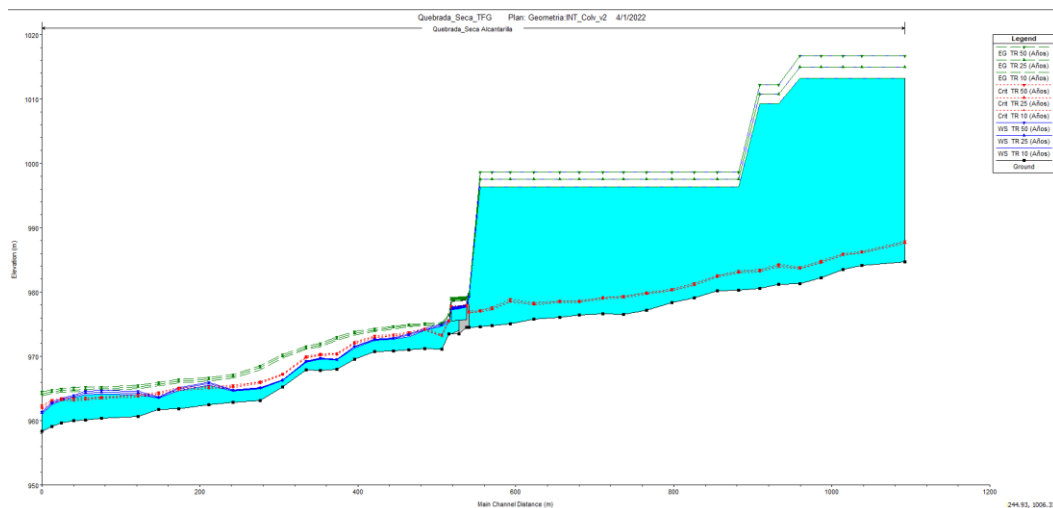


Figura 13.6. Respuesta del modelado hidráulico actual, mediante HEC-RAS, perfil longitudinal del cauce.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: PLAN18 River: Quebrada_Seca Reach: Alcantarilla												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Alcantarilla	575	TR 10 (Años)	80.00	975.01	996.32	978.44	996.32	0.000000	0.15	1230.71	78.87	0.01
Alcantarilla	575	TR 25 (Años)	90.00	975.01	997.49	978.65	997.49	0.000000	0.16	1322.84	78.87	0.01
Alcantarilla	575	TR 50 (Años)	100.00	975.01	998.59	978.90	998.59	0.000000	0.17	1409.93	78.87	0.01
Alcantarilla	552	TR 10 (Años)	80.00	974.74	996.32	977.23	996.32	0.000000	0.14	1352.55	92.26	0.01
Alcantarilla	552	TR 25 (Años)	90.00	974.74	997.49	977.42	997.49	0.000000	0.14	1460.34	92.26	0.01
Alcantarilla	552	TR 50 (Años)	100.00	974.74	998.59	977.61	998.59	0.000000	0.15	1562.20	92.26	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 10 (Años)	80.00	974.61	996.32	976.90	996.32	0.000000	0.12	1589.16	98.16	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 25 (Años)	90.00	974.61	997.49	977.05	997.49	0.000000	0.13	1703.84	98.16	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 50 (Años)	100.00	974.61	998.59	977.18	998.59	0.000000	0.13	1812.22	98.16	0.01
Alcantarilla	523.06	TR 10 (Años)	80.00	974.46	979.04	976.67	979.21	0.000322	1.79	44.60	14.84	0.28
Alcantarilla	523.06	TR 25 (Años)	90.00	974.46	979.31	976.81	979.49	0.000331	1.90	47.46	15.35	0.29
Alcantarilla	523.06	TR 50 (Años)	100.00	974.46	979.57	976.95	979.77	0.000339	1.99	50.21	40.27	0.29
Alcantarilla	510.56		Cuvert									
Alcantarilla	498.06	TR 10 (Años)	80.00	973.47	975.34	975.34	976.14	0.005318	3.96	20.58	13.18	0.99
Alcantarilla	498.06	TR 25 (Años)	90.00	973.47	975.47	975.47	976.33	0.005216	4.12	22.28	13.24	0.99
Alcantarilla	498.06	TR 50 (Años)	100.00	973.47	975.60	975.60	976.52	0.005074	4.26	24.00	13.31	0.99
Alcantarilla	488.69	TR 10 (Años)	80.00	971.12	974.69	973.11	974.88	0.000558	1.97	44.55	15.95	0.35
Alcantarilla	488.69	TR 25 (Años)	90.00	971.12	974.85	973.25	975.07	0.000597	2.11	47.20	16.44	0.37
Alcantarilla	488.69	TR 50 (Años)	100.00	971.12	975.00	973.37	975.25	0.000634	2.24	49.72	16.86	0.38
Alcantarilla	467	TR 10 (Años)	80.00	971.17	974.02	974.02	974.80	0.005940	3.92	21.76	16.24	0.96
Alcantarilla	467	TR 25 (Años)	90.00	971.17	974.15	974.15	974.98	0.005828	4.08	23.86	16.36	0.96
Alcantarilla	467	TR 50 (Años)	100.00	971.17	974.30	974.30	975.16	0.005520	4.17	26.31	20.37	0.94
Alcantarilla	446	TR 10 (Años)	80.00	971.03	973.06	973.42	974.55	0.012548	5.41	14.78	8.70	1.33
Alcantarilla	446	TR 25 (Años)	90.00	971.03	973.28	973.59	974.76	0.011168	5.38	16.72	8.91	1.26

Total flow in cross section.

Tabla 13.1 Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para la sección transversal importantes y periodos de retorno variable.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

De esta tabla se puede observar que para la sección 526.06 que corresponde a la entrada de la alcantarilla el área de caudal es mayor a 44 m² y actualmente la alcantarilla sólo tiene 27 m², por lo que se demuestra que es inapropiada si se le exige para caudales pico del orden de los 80 m³/s.

Realizando un análisis similar al anterior, pero con una alcantarilla de mayor dimensión, tal como se ha indicado anteriormente de ancho de 10 m y un tirante de 5 m, con un periodo de retorno de 50 años, el resultado obtenido de la corrida de HEC-RAS es el siguiente.

Con la inclusión de la alcantarilla modificada, en el tramo del pasa calle, se obtiene el siguiente resultado.

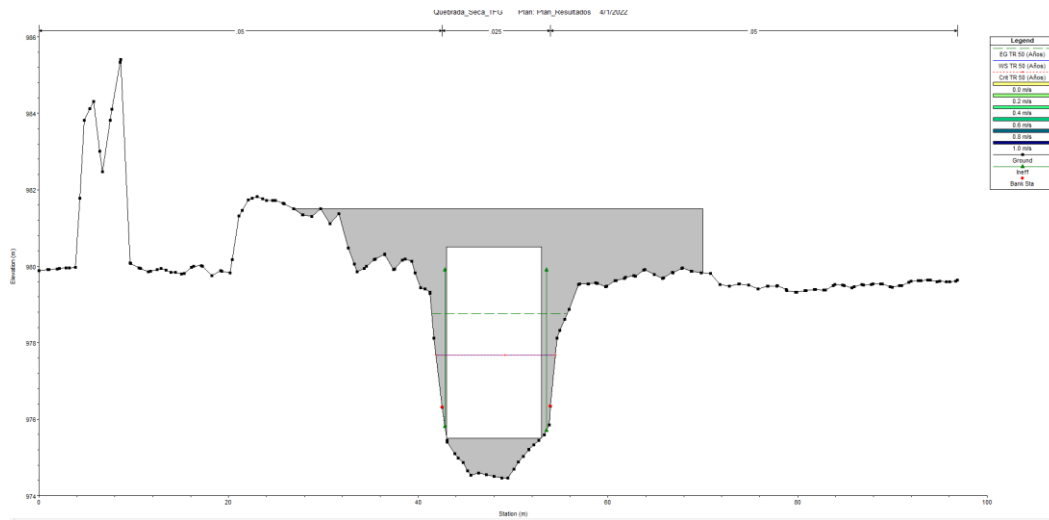


Figura 13.7. Respuesta del modelado hidráulico modificado mediante HEC-RAS, sección transversal 523.06, con la alcantarilla modificada.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

A la salida de la alcantarilla estación 498.06, como ya se ha mencionado se obtiene valores de parámetros de diseño y condiciones apropiadas, que corroboran que la propuesta cumple a satisfacción.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: PL-19 River: Quebrada_Seca Reach: Alcantarilla Profile: TR 50 (Años)												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Alcantarilla	1049	TR 50 (Años)	100.00	984.72	1016.65	987.85	1016.65	0.000000	0.11	2170.24	84.30	0.01
Alcantarilla	1022	TR 50 (Años)	100.00	984.15	1016.65	986.31	1016.65	0.000000	0.10	2358.91	90.25	0.01
Alcantarilla	998	TR 50 (Años)	100.00	983.49	1016.65	985.96	1016.65	0.000000	0.10	2551.85	94.05	0.01
Alcantarilla	970	TR 50 (Años)	100.00	982.23	1016.65	984.82	1016.65	0.000000	0.09	2586.63	92.52	0.01
Alcantarilla	944	TR 50 (Años)	100.00	981.29	1016.65	983.83	1016.65	0.000000	0.08	2942.32	98.04	0.00
Alcantarilla	917	TR 50 (Años)	100.00	981.15	1012.22	984.30	1012.23	0.000000	0.10	2392.12	90.95	0.01
Alcantarilla	893	TR 50 (Años)	100.00	980.54	1012.22	983.47	1012.23	0.000000	0.11	2319.20	85.95	0.01
Alcantarilla	866	TR 50 (Años)	100.00	980.23	998.51	983.29	998.51	0.000001	0.21	1134.11	87.11	0.02
Alcantarilla	837	TR 50 (Años)	100.00	980.18	998.51	982.61	998.51	0.000001	0.19	1213.30	79.24	0.01
Alcantarilla	808	TR 50 (Años)	100.00	979.10	998.51	981.33	998.51	0.000000	0.18	1242.42	77.50	0.01
Alcantarilla	779	TR 50 (Años)	100.00	978.36	998.51	980.44	998.51	0.000000	0.16	1291.60	79.34	0.01
Alcantarilla	748	TR 50 (Años)	100.00	977.20	998.51	979.93	998.51	0.000000	0.19	1243.98	78.72	0.01
Alcantarilla	719	TR 50 (Años)	100.00	976.50	998.51	979.35	998.51	0.000000	0.19	1154.80	71.36	0.01
Alcantarilla	692	TR 50 (Años)	100.00	976.62	998.51	979.20	998.51	0.000000	0.18	1242.00	73.49	0.01
Alcantarilla	662	TR 50 (Años)	100.00	976.38	998.51	978.64	998.51	0.000000	0.16	1416.31	84.88	0.01
Alcantarilla	638	TR 50 (Años)	100.00	976.08	998.51	978.66	998.51	0.000000	0.19	1302.21	75.97	0.01
Alcantarilla	605	TR 50 (Años)	100.00	975.79	998.51	978.33	998.51	0.000000	0.17	1373.50	85.15	0.01
Alcantarilla	575	TR 50 (Años)	100.00	975.01	998.51	978.90	998.51	0.000000	0.17	1403.47	78.87	0.01
Alcantarilla	552	TR 50 (Años)	100.00	974.74	998.51	977.61	998.51	0.000000	0.15	1554.64	92.26	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 50 (Años)	100.00	974.61	998.51	977.18	998.51	0.000000	0.13	1804.18	98.16	0.01
Alcantarilla	523.06	TR 50 (Años)	100.00	974.46	979.04	976.95	979.29	0.000505	2.25	44.53	14.83	0.35
Alcantarilla	510.56	Culvert										
Alcantarilla	498.06	TR 50 (Años)	100.00	973.47	975.60	975.60	976.52	0.005074	4.26	24.00	13.31	0.99
Alcantarilla	488.69	TR 50 (Años)	100.00	971.12	975.00	973.37	975.25	0.000634	2.24	49.72	16.86	0.38
Alcantarilla	467	TR 50 (Años)	100.00	971.17	974.30	974.30	975.16	0.005520	4.17	26.31	20.37	0.94
Alcantarilla	446	TR 50 (Años)	100.00	971.03	973.51	973.75	974.96	0.009468	5.34	18.76	9.17	1.18
Alcantarilla	427	TR 50 (Años)	100.00	970.83	972.88	973.38	974.69	0.015339	5.97	16.75	10.59	1.52
Alcantarilla	403	TR 50 (Años)	100.00	970.74	972.63	973.19	974.29	0.014505	5.70	17.54	11.95	1.50
Alcantarilla	378	TR 50 (Años)	100.00	969.56	971.58	972.23	973.81	0.019141	6.62	15.11	9.59	1.68
Alcantarilla	355	TR 50 (Años)	100.00	968.00	969.57	970.49	973.02	0.053196	8.22	12.16	11.78	2.58
Alcantarilla	335	TR 50 (Años)	100.00	967.78	969.73	970.41	971.98	0.022053	6.65	15.04	11.15	1.83
Alcantarilla	317	TR 50 (Años)	100.00	967.88	969.28	969.98	971.57	0.024573	6.70	14.91	11.95	1.92
Alcantarilla	287	TR 50 (Años)	100.00	965.26	966.33	967.27	970.28	0.066504	8.79	11.37	13.55	3.07

Total flow in cross section.

Tabla 13.2 Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para la sección transversal importantes y periodos de retorno de 50 años.
Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Con estas condiciones se observa que el área mínima de caudal requerida es de 44.53 m², con una velocidad de 2.25 m/s, valores que satisfacen las condiciones físicas para soportar una eventual crecida del orden de los 100 m³/s.

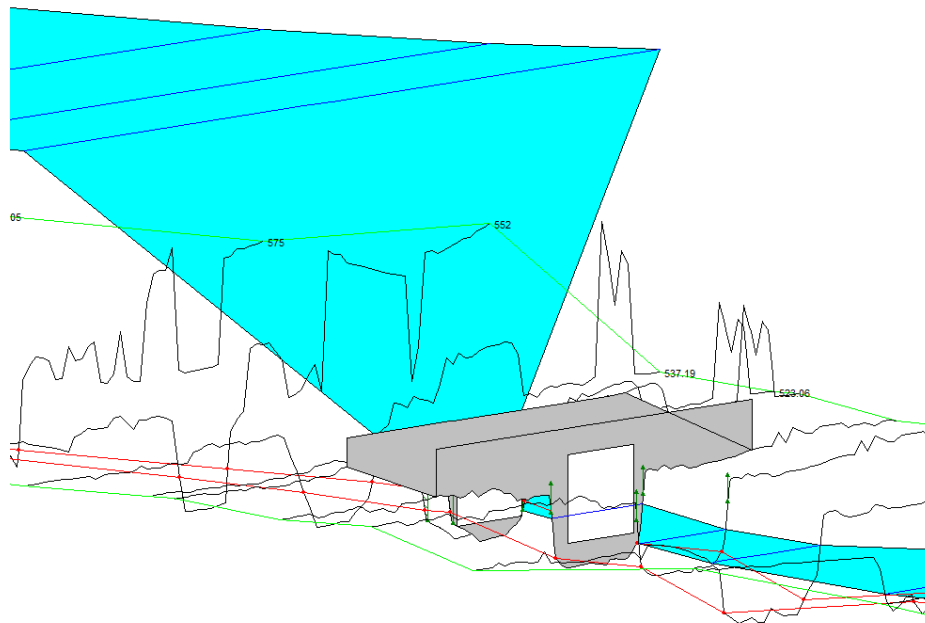


Figura 13.8. Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, para la sección transversal 523.06, alcantarilla modificada.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

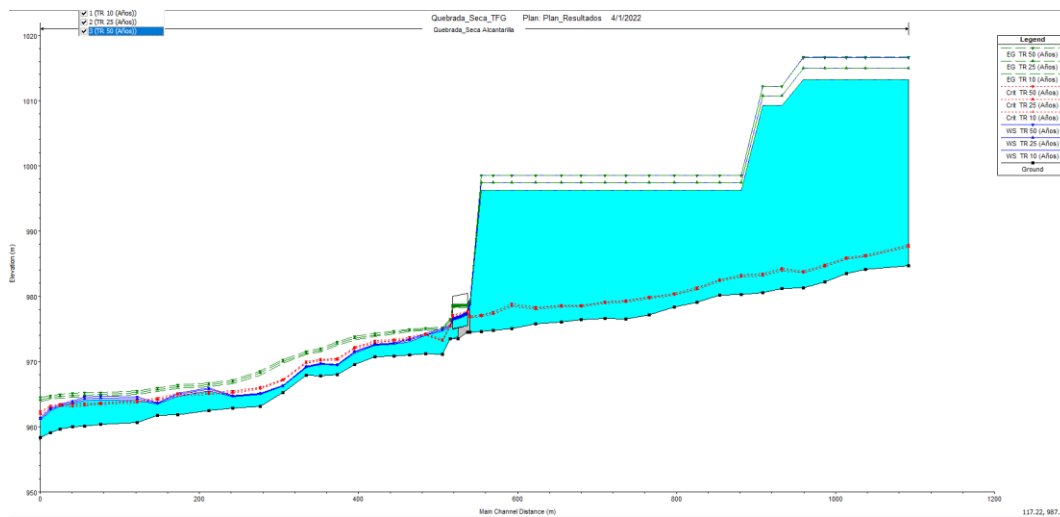


Figura 13.9. Respuesta del modelado hidráulico modificado mediante HEC-RAS, perfil longitudinal del cauce.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: PL-19 River: Quebrada_Seca Reach: Alcantarilla Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Alcantarilla	605	TR 10 (Años)	80.00	975.79	996.25	978.02	996.25	0.000000	0.16	1180.57	85.15	0.01
Alcantarilla	605	TR 25 (Años)	90.00	975.79	997.41	978.17	997.41	0.000000	0.17	1279.72	85.15	0.01
Alcantarilla	605	TR 50 (Años)	100.00	975.79	998.51	978.33	998.51	0.000000	0.17	1373.50	85.15	0.01
Alcantarilla	575	TR 10 (Años)	80.00	975.01	996.25	978.44	996.25	0.000000	0.15	1224.77	78.87	0.01
Alcantarilla	575	TR 25 (Años)	90.00	975.01	997.41	978.65	997.41	0.000000	0.16	1316.60	78.87	0.01
Alcantarilla	575	TR 50 (Años)	100.00	975.01	998.51	978.90	998.51	0.000000	0.17	1403.47	78.87	0.01
Alcantarilla	552	TR 10 (Años)	80.00	974.74	996.25	977.23	996.25	0.000000	0.14	1345.60	92.26	0.01
Alcantarilla	552	TR 25 (Años)	90.00	974.74	997.41	977.42	997.41	0.000000	0.14	1453.03	92.26	0.01
Alcantarilla	552	TR 50 (Años)	100.00	974.74	998.51	977.61	998.51	0.000000	0.15	1554.64	92.26	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 10 (Años)	80.00	974.61	996.25	976.90	996.25	0.000000	0.12	1581.77	98.16	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 25 (Años)	90.00	974.61	997.41	977.05	997.41	0.000000	0.13	1696.06	98.16	0.01
Alcantarilla	537.19	TR 50 (Años)	100.00	974.61	998.51	977.18	998.51	0.000000	0.13	1804.18	98.16	0.01
Alcantarilla	523.06	TR 10 (Años)	80.00	974.46	978.56	976.67	978.77	0.000485	2.03	39.43	13.85	0.34
Alcantarilla	523.06	TR 25 (Años)	90.00	974.46	978.80	976.81	979.04	0.000496	2.14	42.03	14.38	0.35
Alcantarilla	523.06	TR 50 (Años)	100.00	974.46	979.04	976.95	979.29	0.000505	2.25	44.53	14.83	0.35
Alcantarilla	510.56		Culvert									
Alcantarilla	498.06	TR 10 (Años)	80.00	973.47	975.34	975.34	976.14	0.005318	3.96	20.58	13.18	0.99
Alcantarilla	498.06	TR 25 (Años)	90.00	973.47	975.47	975.47	976.33	0.005216	4.12	22.28	13.24	0.99
Alcantarilla	498.06	TR 50 (Años)	100.00	973.47	975.60	975.60	976.52	0.005074	4.26	24.00	13.31	0.99
Alcantarilla	488.69	TR 10 (Años)	80.00	971.12	974.69	973.11	974.88	0.000558	1.97	44.55	15.95	0.35
Alcantarilla	488.69	TR 25 (Años)	90.00	971.12	974.85	973.25	975.07	0.000597	2.11	47.20	16.44	0.37
Alcantarilla	488.69	TR 50 (Años)	100.00	971.12	975.00	973.37	975.25	0.000634	2.24	49.72	16.86	0.38
Alcantarilla	467	TR 10 (Años)	80.00	971.17	974.02	974.02	974.80	0.005940	3.92	21.76	16.24	0.96
Alcantarilla	467	TR 25 (Años)	90.00	971.17	974.15	974.15	974.98	0.005828	4.08	23.86	16.36	0.96

Total flow in cross section.

Tabla 13.3 Respuesta del modelado hidráulico actual mediante HEC-RAS, resultados obtenidos, para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Fuente: Propia, asistido por HEC-RAS.

Según se aprecia en la Tabla 13.3, la propuesta presenta un área efectiva de 44.53 m², manteniendo el valor de velocidad de 2.25 m/s, con estos datos se puede estimar un modelo modificado con una capacidad de hasta 112.5 m³/s, el cual satisface la condición de máxima avenida y garantiza que el modelo sugerido cumple esa condición a satisfacción.

Por lo tanto, podemos asegurar que la sustitución de la alcantarilla existente por el modelo sugerido, es una solución apropiada y que disminuye la posibilidad de inundación para periodos de retorno mayores a 100 años.

14. Modelado de la propuesta

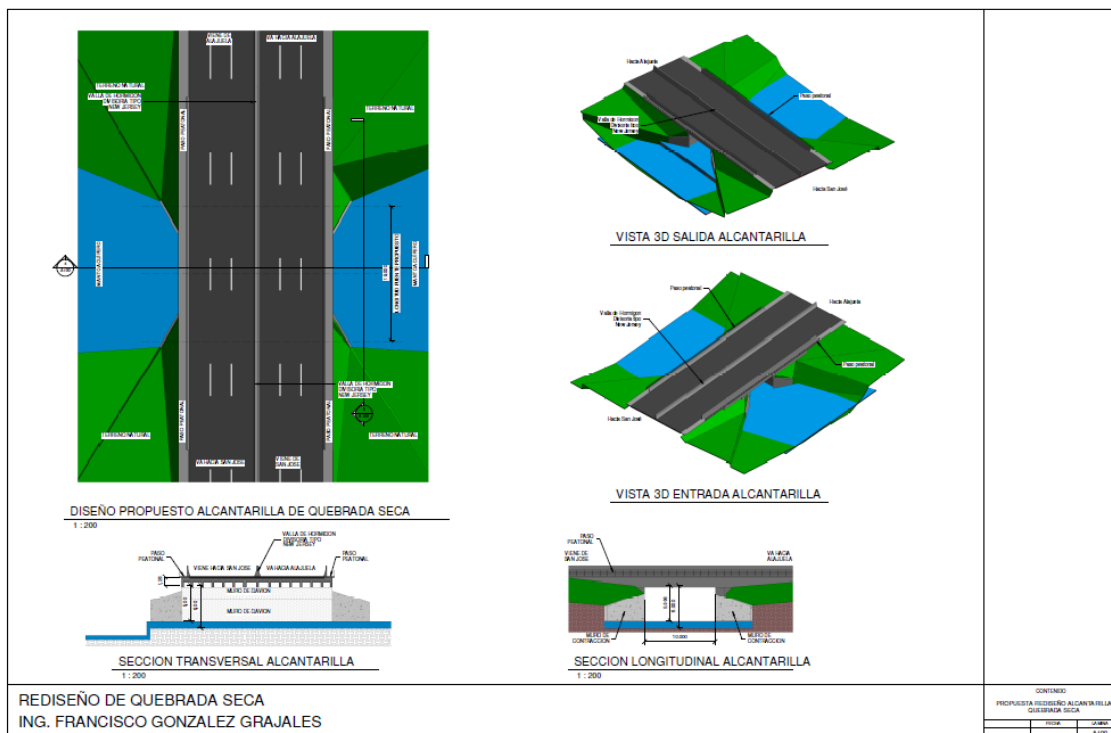


Figura 14.1. Plano de la alcantarilla sugerida, modelo preliminar.
Fuente: Propia, asistido por REVIT.

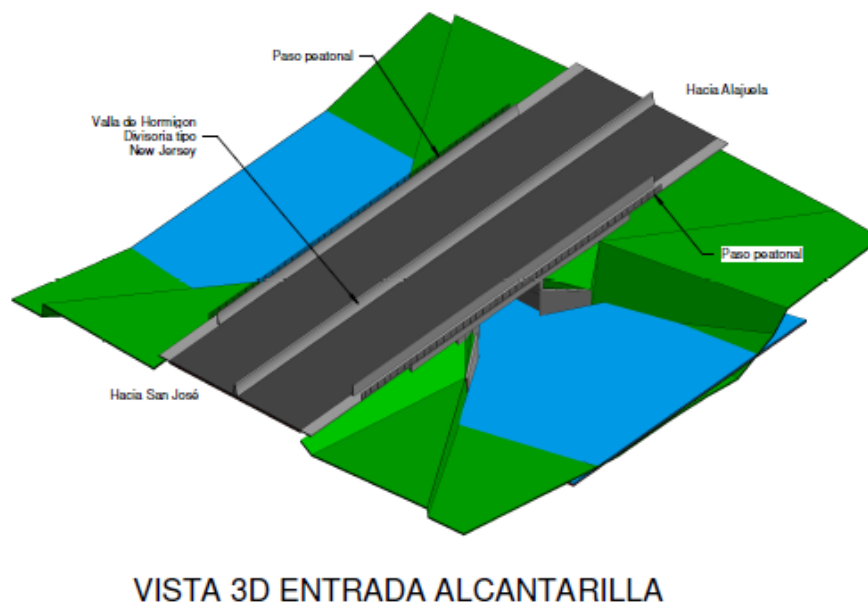
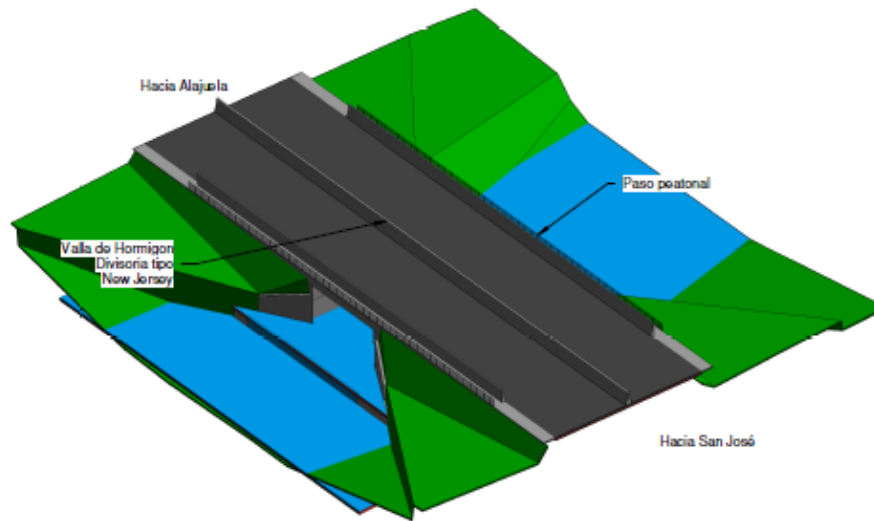
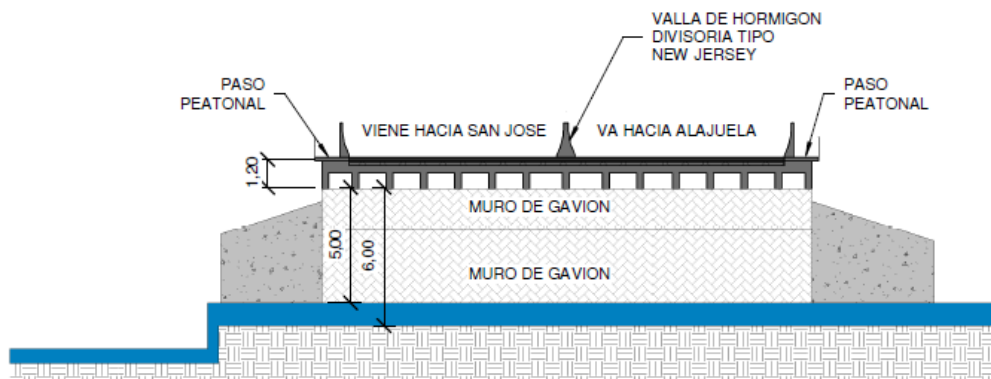


Figura 14.2. Alcantarilla modificada, entrada del cauce modelo preliminar
Fuente: Propia, asistido por REVIT.



VISTA 3D SALIDA ALCANTARILLA

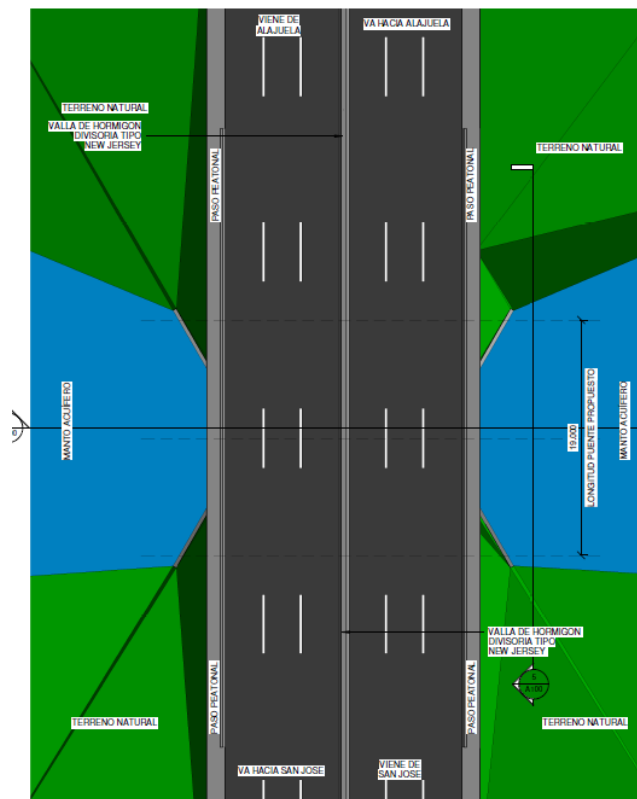
Figura 14.3. Alcantarilla modificada, salida del cauce modelo preliminar
Fuente: Propia, asistido por REVIT.



SECCION TRANSVERSAL ALCANTARILLA

1 : 200

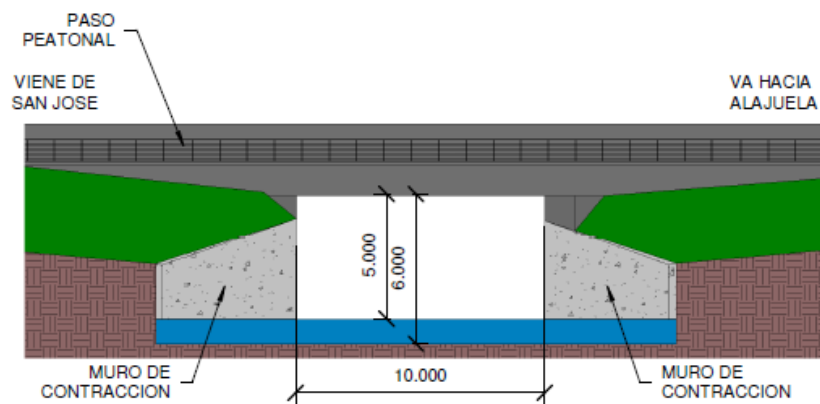
Figura 14.4. Alcantarilla modificada, sección transversal
Fuente: Propia, asistido por REVIT.



DISEÑO PROPUESTO ALCANTARILLA DE QUEBRADA SECA

1 : 200

Figura 14.5. Alcantarilla modificada, vista superior
Fuente: Propia, asistido por REVIT.



SECCION LONGITUDINAL ALCANTARILLA

1 : 200

Figura 14.6. Alcantarilla modificada, vista superior
Fuente: Propia, asistido por REVIT.

15. Conclusiones

La subcuenca de la Quebrada Seca tiene una forma alargada, con un factor de forma 1.45 que la clasifica como cuenca “Rodeando el desagüe” y un índice de Gravelius de 1.91, clasificándola como una subcuenca “Rectangular Oblonga”. El área de la subcuenca es de 21.7 km² y su perímetro es de 31.5 km, área comprendida hasta el punto de interés el cual se ubica justo en la intersección de la quebrada con la autopista General Cañas.

La Quebrada Seca, es un curso de agua que recorre una pequeña parte de la provincia de Heredia, a lo largo del tiempo ha presentado problemas por concepto de inundaciones, obligando a los gobiernos locales a tomar medidas de prevención, alterando el comportamiento general del cauce, de forma que cuanto más se resuelve los problemas aguas arriba, más frecuentes y severos son las repercusiones aguas abajo.

El método para delimitar el área por medio de las hojas cartográficas es utilizado frecuentemente cuando no se cuenta con programas como QGIS, pero ambos son funcionales aplicando el criterio profesional y conociendo el comportamiento de los cuerpos de agua en función de las pendientes y las alturas de la cuenca.

La curva hipsométrica y el modelo de elevación digital obtenido, indican que las pendientes más pronunciadas se ubican en su parte alta, situación que favorece la erosión del suelo, la escorrentía estimula el traslado de estos materiales al cauce y consecuentemente la sedimentación del mismo aguas abajo, aumentando la probabilidad de la obstrucción de alcantarillas y consecuentemente la inundación.

El análisis hidrológico de la subcuenca permitió definir caudales máximos instantáneos entre los 80 y los 100 m³/s, para periodos de retorno entre 10 y 50 años, valores que realmente son muy altos y que posiblemente no se presenten antes de que nuevamente se inunde la zona, esto debido a que la construcción de este tipo de alcantarilla con las divisiones internas de separación, son una verdadera trampa para árboles, maleza y cualquier otro material que fácilmente obstruye el canal, eso será el detonante para que se presente la emergencia.

El punto de aforo, situado a 500 m aguas arriba de la alcantarilla, es el sitio donde inicia el análisis, los caudales se obtuvieron tras la aplicación de modelado precipitación-escorrentía en HEC-RAS, empleando los datos derivados del análisis morfológico de la

cuenca, obtenido por medio de QGIS, del cual, para un periodo de retorno (PR) de 10 años, se proyecta un caudal pico (Q_p) de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, para un PR de 25 años un Q_p de $90 \text{ m}^3/\text{s}$ y para un PR de 100 años se le asocia a un Q_p de $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

La subcuenca presenta tres sectores de intensidad de lluvia característica, de forma que la lluvia de mayor intensidad se presenta en la parte más baja de la subcuenca, disminuyendo de intensidad en las partes más altas, dando como resultado, una disminución de la probabilidad de inundación por acumulación de materiales producto de la erosión en las partes altas. La lluvia característica para la mayoría parte de la subcuenca presenta patrón de lluvia típica que genera crecientes de muy alta intensidad y duraciones que van entre los 20 y 40 minutos, pero en los sectores de menor altura.

El modelo hidráulico por medio del software HEC-RAS abarcó un tramo de 1000 m en el cual se definieron un total de 43al menos 2 metros secciones transversales (estaciones) y donde además se estimaron las condiciones de rugosidad y de control hidráulico para el cauce y la estructura de la alcantarilla, análisis que permitió definir que la alcantarilla actual es deficiente y que no cumple un comportamiento adecuado para ninguna condición de precipitación para un periodo de retorno de los 10 años, por lo que no funcionará para periodos de retorno mayores y evidentemente deberá ser intervenida en el corto plazo.

De las recomendaciones del MOPT respecto a la construcción de puentes, se extrae que la distancia mínima permitida entre una estructura de un puente y el cauce, deberá presentar una luz de al menos un metro, de forma que el punto más bajo de la estructura y el nivel máximo del caudal deberán mantener esa separación, razón que nos obliga a levantar el margen de la calzada para satisfacer esa condición.

Levantar la calzada es otro factor de mejora, ya que disminuye el riesgo de inundación, en virtud de que la geografía de la zona presenta una curvatura que favorece la acumulación y retención de agua, cuando se excede los límites de la alcantarilla, por lo que es necesario corregir esta condición de la vía.

Existe evidencia de que no se ha respetado el retiro de algunas empresas cerca del margen de la quebrada, situación que empeora la emergencia cuando se presenta la

inundación, esto es responsabilidad de los gobiernos locales, que permiten construcciones muy cerca del cauce.

Como propuesta para la nueva geometría y considerando los criterios usuales del Departamento de Puentes del MOPT, se sugiere construir un puente con luz mínima de 20 m (separación efectiva entre bastiones) y un nivel de fondo de viga a la altura de 976 m.s.n.m., condición que levanta la calzada, propone una sustitución de las capas de lastre y posteriormente la capa asfáltica, mantiene una separación de al menos 5 m, entre la parte más baja del puente y el nivel del canal.

Queda demostrado con este trabajo que se debe intervenir la alcantarilla y esto debe realizarse pronto, ya que en cualquier momento puede suceder una emergencia, no es necesario que se presente una avenida máxima, basta tan solo que se presente una lluvia de mediana intensidad, en un periodo de tiempo corto, que el caudal arrastre algo de maleza, suficiente como para que se atasque la alcantarilla y como ya se mencionó, eso será suficiente para que se inunde nuevamente la autopista.

16. Recomendaciones

- Es importante que las alcantarillas que se implementan en los pasa calles, no lleven paredes divisorias, ya que estas propician la obstrucción e incrementan el riesgo de inundaciones, por tal razón se recomienda la implementación de un solo conducto, el cual puede ser redondo o rectangular pero que no tenga separaciones internas.
- Por el tamaño de la propuesta de alcantarilla, es recomendable valorar la implementación de un puente, el cual deberá anclarse fuera del cauce, para evitar que las pilas formen barreras internas que favorezcan la acumulación de basura y maleza.
- Es importante se analice el impacto que se puede generar con la construcción de este nuevo modelo de paso de agua, ya que cualquier modificación aguas arriba de un cauce, provocará inevitablemente repercusiones aguas abajo, por lo que intervenir esta alcantarilla fácilmente podría generar daños e inundaciones en las zonas más bajas de la cuenca.
- Se recomienda la implementación de un puente en lugar de una alcantarilla, es mucho mejor que el cauce se comporte como un canal abierto.
- Se debe tener extremo cuidado con los trabajos a realizar en la cercanía de la alcantarilla, debido a que justamente en ese sector para el oleoducto de Recope, que transporta el combustible, cualquier trabajo en la zona debe coordinarse con las entidades correspondientes.
- Se le debe prestar atención a la cercanía que se evidencia de obras constructivas, las cuales se aprecian en el lindero de la quebrada y que están propensas a daños serios en caso de crecidas de la quebrada, incluso por el simple atascamiento de basura, se verán afectadas por la cercanía al cauce.
- Se debe buscar la forma de construir pedestales de resguardo para evitar que una crecida deje atrapados a las personas y por falta de estos, se pueda perder la vida de algún ser humano.

17. Referencias Bibliográficas

1. Alfaro, J (2020). Aguaceros inundan en autopista General Cañas y dejan siete carros dañados. [Figura 3]. Recuperado de: <https://www.ameliarueda.com/nota/aguaceros-inundan-autopista-general-canas-carros-noticias-costa-rica>
2. Breña, P. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. México.
3. Campos. D. (2010). Introducción a la Hidrología Urbana. México.
4. Ciclo del agua [Figura 10] Recuperado de: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>
5. Ven Te Chow, Maidment, David y Mays, Larry (1994). Hidrología aplicada.
6. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias cita, folleto de deslizamientos, inundaciones y sismo.
7. Lineamientos Técnicos para Factibilidades, SIAPA CAP 3. Alcantarillado pluvial. (2014).
8. IMN. (2011). Instituto Meteorológico Nacional. Curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas.
9. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). Sistema Pluvial. En Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. Costa Rica.
10. Hidrología. M Villón. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola 2, 15-64, 2002. 142, 2002. Hidrología. M Villón Béjar. ET, (2004).
11. Hidrología para Ingenieros, (1997), RAY K. LINSLEY, JR, MAX A. KOHLER, JOSEPH L.H. PAULUS, Segunda Edición.
12. Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales (2018). MSc. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster, I Dr. Alcides J. F. León Méndez, II Dra. Yakelín Rodríguez López, II Paul Geovanny Martínez Ramírez, III Diego Martín Meneses Meneses, III
13. Guzmán, D.J (2013). “Análisis de las inundaciones en la microcuenca del río Burío-Quebrada Seca, Costa Rica”. Universidad Nacional de Costa Rica.

14. Meza, A (2020). Como si fuera un río, así luce la General Cañas esta tarde. [Figura 1]. Recuperado de: <https://amprensa.com/2020/09/fotos-y-videos-como-si-fuera-un-rio-asi-luce-la-general-canas-esta-tarde/>
15. Meléndez, A (2020). CNE: Saturación de basura provoco inundación *repentina* en la General Cañas. [Figura 4]. Recuperado de: <https://crc891.com/2020/09/cne-saturacion-de-basura-provoco-inundacion-repentina-en-la-general-canas/>
16. NCRNoticias (2020). Así quedaron atrapados varios conductores en la autopista General Cañas. [Figura 2]. Recuperado de: <https://ncrnoticias.com/sucesos/video-asi-quedaron-atrapados-varios-conductores-en-la-autopista-general-canas/>
17. Peña, S (2020). Esta fue la causa de las inundaciones en la General Cañas. [Figura 6]. Recuperado de: https://www.teletica.com/sucesos/esta-fue-la-causa-de-las-inundaciones-en-la-general-canas_269512
18. Solano, H (2020). Conductores atrapados en inundación de autopista. [Figura 5]. Recuperado de: <https://www.pressreader.com/costa-rica/la-nacion-costa-rica/20200930/281500753699459>
19. Chapa, F., Pérez, M., & Hack, J. (2020). Experimenting transition to sustainable urban drainage systems—identifying constraints and unintended processes in a tropical highly urbanized watershed. *Water*, 12(12), 3554. <https://doi.org/10.3390/w12123554>
20. Repositorio Institucional del Tecnológico de Costa Rica, Biblioteca José Figueres Ferrer | TEC Digital <https://slideplayer.es/slide/14188860/>
21. Ibáñez, A., Moreno, R., Blanquer, G. (s.f.) Morfología de las cuencas hidrográficas. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
22. Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, Primera edición, año 2016.

ANEXOS

Memoria de cálculo en excel

Datos de entrada

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Perímetro de la cuenca	P	31.5	km
Área de la cuenca	A	21.7	km ²
Longitud del cauce principal	Lc	11708	m
Elevación máxima del cauce	HM	1559	msnm
Elevación mínima del cauce	Hm	1001	msnm
Longitud de todos cauces	Ls	20.967	km
Parámetros de forma HORTON (Kf)			
Factor de forma según HORTON	Kf	1.45	1/km
		Rodeando el desagüe	
Índice de compacidad de Gravelius (Ic)			
Índice de compacidad de Gravelius	Ic	1.91	
		Rectangular ovonga	
Red hidrográfica			
Pendiente media del río	Ir	0.05	
Densidad de drenajes	Dd	0.97	km/km ²

Datos de entrada		
Parámetros	Valor	Unidad
Área (A)	21.66	km ²
Perímetro (P)	31.5	km
Longitud del cauce principal (Lc)	11.7	km
Elevación máxima (HM)	1559	msnm
Elevación mínima (Hm)	1001	msnm
Período de retorno (Pr)	10	años
Duración de la precipitación (D)	20	minutos
Cambio climático	NO	

Cálculos		
Parámetros	valor	Unidad
Péndiente media	0.048	m/m
Tiempo de concentración (tc)	1.424	h
Tiempo de retraso (tr)	0.854	h
Tiempo pico (tp)	2.05	h
Tiempo base (tb)	5.468	h
Intensidad de lluvia (I)	120.793	mm/h
Precipitación (Pc)	40.264	mm
Caudal punta (cp)	88.60	m ³ /s

HISTOGRAMA

Cuenca Quebrada Seca y Río Burío

Área (km ²)	Dif Altitud (msnm)
0	994
1.5274	1019
3.2542	1044
4.3966	1069
6.0901	1094
8.1332	1119
10.0598	1144
12.0746	1169
13.6147	1194
14.2797	1219
15.1177	1244
15.6989	1269
16.2824	1294
16.8381	1319
17.2504	1344
17.7439	1369
18.2193	1394
18.6063	1419
18.9705	1444
19.3346	1469
19.6535	1494
19.9256	1519
20.1954	1544

20.4492	1569
20.6839	1594
20.9023	1619
21.048	1644
21.1865	1669
21.266	1694
21.3938	1719
21.4815	1744
21.5813	1769
21.6307	1794
21.6598	1819

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
0	1559	504.155886	1500	933.9267	1460	1376.82695	1416
16.5699302	1557	519.028851	1499	945.2275	1457	1387.44354	1414
33.1398604	1555	532.420655	1498	963.46027	1454	1400.45943	1409
49.7097906	1553	545.812458	1497	981.69304	1453	1413.47532	1408
66.2797209	1552	559.204261	1496	999.92582	1450	1426.49122	1406
83.6626041	1548	572.596064	1495	1011.047	1450	1432.95024	1405
101.045487	1546	588.028654	1494	1022.1681	1450	1450.36524	1405
116.110381	1544	603.461244	1493	1033.2893	1450	1467.78024	1405
131.175274	1541	618.893833	1491	1044.4104	1450	1478.8322	1405
146.240167	1540	634.326423	1490	1055.5316	1449	1489.88415	1405
161.30506	1539	646.386492	1489	1066.6527	1450	1500.93611	1404
176.369953	1538	658.446562	1488	1082.0048	1449	1511.98806	1404
195.340389	1537	670.506632	1487	1097.3569	1449	1523.04002	1404
214.310825	1535	682.566701	1486	1116.8009	1448	1534.09197	1403
226.806516	1533	694.116319	1485	1136.245	1447	1545.14393	1402
239.302207	1532	705.665938	1484	1148.7928	1446	1556.19588	1402
251.797897	1530	717.215556	1483	1161.3406	1446	1567.24784	1401
264.293588	1528	728.765174	1482	1173.8885	1444	1578.29979	1400
276.25814	1527	739.905731	1480	1187.2741	1444	1589.35175	1398
288.222692	1526	751.046288	1480	1200.6598	1443	1599.57803	1396
300.187244	1525	761.580965	1480	1214.0454	1443	1609.8043	1394
312.151796	1521	772.115642	1480	1225.3686	1443	1620.03058	1392
324.116349	1520	782.650319	1480	1236.6917	1442	1630.25686	1390
336.080901	1519	793.184996	1480	1248.0149	1442	1640.48314	1388
350.201523	1518	803.719673	1481	1259.338	1441	1650.70941	1386
364.322145	1517	814.254349	1480	1270.6611	1439	1660.93569	1384
378.442767	1515	824.789026	1480	1281.2777	1437	1671.16197	1383
392.563389	1513	839.805067	1478	1291.8943	1434	1681.38825	1382
405.803487	1511	854.821108	1476	1302.5109	1432	1691.61453	1381
419.043585	1510	866.121907	1474	1313.1275	1430	1702.09242	1381
432.283683	1508	877.422706	1471	1323.744	1428	1712.5703	1379
445.523781	1506	888.723504	1468	1334.3606	1425	1723.04819	1377
458.763879	1505	900.024303	1465	1344.9772	1423	1733.52608	1373
473.894548	1504	911.325101	1463	1355.5938	1420	1744.00397	1370
489.025217	1502	922.6259	1461	1366.2104	1418	1754.42896	1368

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
1764.854	1366	2242.78669	1315	2710.485982	1294	3105.94028	1266
1775.279	1364	2257.00484	1313	2724.086126	1292	3117.37124	1266
1787.166	1363	2271.64362	1310	2738.317942	1291	3128.80221	1265
1799.053	1361	2286.28239	1308	2752.549758	1290	3140.23317	1264
1810.94	1360	2300.92117	1305	2766.781573	1289	3151.66414	1264
1822.827	1359	2315.55995	1302	2781.013389	1288	3163.0951	1263
1834.714	1356	2330.19873	1300	2792.810026	1286	3177.31325	1262
1846.601	1354	2344.8375	1299	2804.606662	1286	3194.78258	1261
1858.489	1354	2359.28704	1299	2816.403299	1285	3212.25191	1261
1870.431	1352	2373.73657	1299	2828.199936	1284	3224.34395	1261
1882.374	1353	2388.18611	1299	2839.996572	1284	3236.43599	1261
1894.317	1353	2402.63564	1300	2851.793209	1283	3248.52803	1262
1906.259	1356	2417.08518	1300	2863.589846	1283	3260.62007	1262
1918.202	1359	2431.53471	1300	2873.844011	1283	3272.71211	1263
1938.787	1360	2445.98425	1300	2884.098176	1282	3284.80415	1263
1951.929	1360	2460.43378	1300	2894.352341	1282	3298.41204	1263
1965.071	1360	2473.54227	1300	2904.606506	1281	3312.01993	1262
1978.838	1360	2486.65076	1301	2914.860671	1281	3325.62782	1262
1992.606	1359	2499.75924	1301	2925.114836	1281	3339.23571	1262
2006.373	1357	2512.86773	1301	2935.369002	1280	3352.84361	1262
2020.141	1355	2524.65114	1302	2945.623167	1279	3369.0121	1261
2033.908	1353	2536.43455	1302	2955.877332	1279	3385.1806	1261
2047.675	1351	2548.21797	1302	2966.196119	1278	3401.3491	1260
2061.443	1348	2560.00138	1302	2976.514906	1277	3411.99763	1260
2077.193	1346	2571.78479	1301	2986.833693	1276	3422.64617	1260
2092.944	1345	2583.5682	1301	2997.15248	1275	3433.29471	1259
2108.694	1344	2595.35161	1300	3007.471268	1274	3443.94324	1258
2124.445	1341	2607.13502	1300	3017.790055	1272	3454.59178	1257
2140.195	1340	2618.91844	1299	3028.749949	1271	3465.24031	1257
2155.945	1339	2630.70185	1299	3039.709843	1270	3475.88885	1255
2171.696	1335	2642.48526	1298	3050.669736	1270	3493.97056	1253
2185.914	1330	2656.0854	1298	3061.62963	1269	3512.05227	1252
2200.132	1325	2669.68555	1297	3072.589524	1268	3527.06831	1250
2214.35	1320	2683.28569	1296	3083.549418	1268	3542.08435	1249
2228.569	1317	2696.88584	1295	3094.509312	1267	3553.48145	1247

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
3564.878545	1246	3999.579664	1220	4436.138637	1187	4912.588765	1184
3576.275642	1245	4014.07939	1220	4449.813217	1186	4924.20197	1184
3587.67274	1244	4027.098602	1219	4463.487797	1184	4935.815175	1184
3599.069838	1242	4040.117814	1219	4479.134942	1183	4947.428381	1183
3610.466936	1241	4053.137026	1217	4494.782087	1182	4959.041586	1183
3621.864034	1240	4066.156237	1215	4510.429233	1181	4970.654791	1183
3632.365642	1239	4079.175449	1212	4527.447666	1180	4982.267996	1183
3642.86725	1238	4096.82069	1210	4544.4661	1180	4993.881201	1182
3653.368858	1238	4114.46593	1208	4556.889392	1180	5005.494406	1182
3663.870466	1237	4132.111171	1206	4569.312684	1180	5017.107612	1182
3674.372074	1237	4153.34706	1204	4585.049294	1180	5029.213931	1182
3686.481998	1237	4161.712286	1203	4600.785903	1180	5041.32025	1181
3698.591921	1237	4173.434221	1202	4614.190904	1180	5053.42657	1180
3710.701844	1237	4185.156156	1201	4627.595906	1180	5065.532889	1180
3722.811767	1236	4196.87809	1200	4641.000907	1180	5077.278678	1179
3734.92169	1235	4208.600025	1199	4657.073369	1180	5089.024468	1179
3747.031614	1234	4220.32196	1199	4673.145831	1181	5100.770257	1179
3759.141537	1233	4231.819921	1197	4689.218293	1181	5112.516047	1178
3771.050627	1231	4243.317881	1197	4705.290755	1180	5124.261836	1178
3782.959717	1231	4254.815842	1196	4721.363217	1180	5138.394665	1177
3794.868807	1230	4266.313803	1195	4733.521606	1180	5152.527494	1176
3806.777897	1229	4277.811763	1195	4745.679996	1180	5166.660323	1176
3818.686987	1228	4289.309724	1194	4757.838386	1179	5177.717692	1175
3830.596078	1228	4300.807685	1193	4769.996776	1179	5188.77506	1175
3842.505168	1227	4312.305646	1192	4782.606428	1178	5199.832428	1174
3856.095781	1226	4323.693189	1192	4795.21608	1178	5210.889796	1174
3869.686393	1225	4335.080733	1191	4807.782839	1178	5231.616135	1172
3883.277006	1225	4346.468277	1190	4820.349598	1179	5252.342473	1171
3897.852945	1224	4357.855821	1189	4832.916357	1179	5264.409552	1171
3912.428884	1224	4369.243364	1188	4844.298129	1180	5276.476631	1171
3927.004822	1224	4380.630908	1188	4855.679902	1180	5288.54371	1171
3941.580761	1223	4392.018452	1187	4867.061675	1181	5300.610789	1170
3956.080487	1223	4403.405996	1187	4878.443447	1182	5312.677867	1170
3970.580213	1222	4414.316876	1187	4889.82522	1183	5325.397413	1169
3985.079938	1221	4425.227757	1187	4901.206992	1183	5338.11696	1168

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
5350.836506	1168	5826.79174	1156	6318.754473	1135	6705.588384	1125
5363.556052	1168	5838.691533	1156	6332.933196	1135	6715.735971	1124
5376.275598	1167	5850.591325	1156	6347.111919	1134	6725.883558	1123
5391.275061	1167	5862.491118	1155	6361.290642	1132	6736.031145	1123
5406.274523	1166	5874.39091	1154	6374.862171	1131	6746.178732	1122
5421.273985	1166	5886.290703	1153	6388.433701	1129	6756.326319	1121
5436.273448	1165	5898.702255	1153	6402.00523	1130	6766.473906	1121
5451.27291	1165	5911.113806	1152	6412.303721	1130	6776.621493	1120
5466.920056	1164	5923.525358	1152	6422.602211	1130	6786.951785	1120
5482.567201	1164	5935.93691	1152	6432.900702	1130	6797.282078	1119
5498.214346	1164	5952.078669	1151	6443.199193	1130	6807.61237	1118
5510.99974	1164	5968.220428	1150	6453.497684	1131	6817.942663	1117
5523.785134	1164	5984.362187	1148	6463.796174	1131	6829.678022	1116
5536.570529	1163	5998.823253	1147	6474.094665	1131	6841.413381	1115
5549.355923	1162	6013.284318	1146	6484.393156	1131	6853.14874	1114
5562.141317	1162	6027.745384	1145	6495.89006	1131	6864.884099	1112
5574.618386	1162	6042.20645	1144	6507.386964	1131	6875.949277	1111
5587.095455	1161	6056.667515	1143	6518.883868	1131	6887.014456	1110
5599.572525	1161	6082.375374	1143	6530.380772	1131	6898.079635	1109
5613.339974	1161	6095.957244	1141	6541.877676	1131	6909.144813	1108
5627.107424	1161	6109.539113	1141	6553.37458	1131	6920.209992	1107
5640.874874	1160	6123.120983	1140	6563.522167	1130	6931.27517	1106
5655.724951	1160	6136.702853	1140	6573.669754	1130	6942.340349	1104
5670.575028	1160	6150.724973	1140	6583.817341	1130	6953.405527	1103
5685.425105	1159	6164.747093	1141	6593.964928	1130	6964.470706	1102
5700.275182	1159	6178.769213	1140	6604.112515	1130	6975.535884	1101
5713.42808	1159	6192.791334	1139	6614.260102	1129	6986.601063	1100
5726.580978	1159	6206.813454	1138	6624.407689	1129	6997.666241	1100
5739.733876	1159	6226.332316	1138	6634.555276	1128	7009.963725	1099
5752.886774	1159	6237.917643	1138	6644.702862	1127	7022.261208	1099
5766.039672	1159	6249.50297	1136	6654.850449	1127	7035.043105	1098
5779.19257	1158	6261.088296	1136	6664.998036	1127	7047.825002	1098
5791.092363	1158	6272.673623	1135	6675.145623	1126	7060.606899	1098
5802.992155	1157	6290.397027	1136	6685.29321	1126	7073.388796	1098
5814.891948	1157	6304.57575	1136	6695.440797	1126	7086.294708	1098

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
7099.20062	1097	7579.51955	1091	7957.499481	1083	8383.574654	1075
7112.106532	1097	7592.764492	1091	7968.563684	1083	8394.840999	1076
7125.778269	1097	7606.009434	1090	7979.627886	1083	8406.107343	1076
7139.450005	1097	7616.465609	1090	7990.692089	1083	8417.373688	1077
7153.121742	1097	7626.921785	1089	8001.514025	1083	8428.640033	1077
7166.793478	1097	7637.37796	1089	8012.335961	1083	8439.906378	1078
7180.465215	1098	7647.834136	1088	8023.157898	1083	8451.172723	1078
7194.079962	1098	7658.290312	1088	8033.979834	1083	8462.805462	1078
7207.694709	1099	7668.746487	1087	8046.062939	1083	8474.438202	1079
7221.309455	1100	7679.202663	1087	8058.146044	1083	8486.070941	1079
7234.924202	1101	7689.658838	1087	8070.229149	1082	8497.703681	1079
7248.538949	1101	7700.115014	1086	8084.365034	1082	8509.33642	1079
7265.99715	1101	7710.571189	1086	8098.500919	1081	8520.96916	1079
7279.134283	1100	7721.027365	1085	8110.432971	1080	8532.601899	1079
7292.271416	1100	7731.48354	1085	8122.365023	1080	8543.409357	1079
7305.408549	1099	7741.939716	1085	8134.297075	1080	8554.216815	1079
7318.545682	1099	7752.503733	1085	8146.229127	1080	8565.024272	1079
7331.682815	1098	7763.06775	1085	8158.161179	1080	8575.83173	1078
7344.819948	1098	7773.631767	1085	8170.093232	1080	8586.639187	1078
7357.957081	1097	7784.195785	1084	8182.025284	1079	8597.446645	1077
7371.094214	1097	7794.759802	1084	8193.957336	1078	8608.254102	1077
7384.231347	1097	7805.323819	1084	8205.889388	1078	8619.06156	1077
7397.36848	1097	7815.887836	1083	8217.82144	1077	8629.869017	1076
7410.505613	1096	7826.451853	1083	8229.753492	1077	8645.130444	1075
7427.626534	1095	7837.01587	1083	8241.685544	1077	8660.391871	1075
7444.747455	1094	7847.927246	1083	8253.617596	1076	8675.653297	1075
7458.282731	1094	7858.838621	1083	8265.549648	1076	8692.113047	1073
7471.818008	1094	7869.749996	1083	8279.191408	1075	8708.572796	1072
7485.353284	1094	7880.661372	1083	8292.833167	1074	8725.032546	1071
7498.888561	1093	7891.572747	1083	8306.474926	1074	8736.833217	1071
7512.423837	1092	7902.484123	1083	8320.116686	1074	8748.633888	1070
7525.959113	1092	7913.395498	1083	8333.758445	1074	8760.43456	1070
7539.49439	1092	7924.306873	1083	8347.400205	1075	8772.235231	1070
7553.029666	1091	7935.371076	1083	8361.041964	1075	8784.035902	1070
7566.274608	1091	7946.435278	1083	8372.308309	1075	8795.836574	1069

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
8807.637245	1069	9230.171213	1061	9641.914572	1056	10042.81543	1042
8822.840595	1068	9240.843937	1061	9651.983306	1055	10055.34032	1041
8838.043945	1067	9251.51666	1061	9662.05204	1055	10067.86521	1041
8853.247295	1067	9262.189384	1060	9672.120773	1054	10081.27877	1041
8868.450645	1066	9273.429819	1060	9682.189507	1053	10094.69233	1040
8883.653995	1066	9284.670254	1060	9692.25824	1053	10108.10589	1041
8894.920868	1066	9295.91069	1059	9703.192849	1051	10121.51945	1041
8906.187741	1065	9307.151125	1059	9714.127457	1050	10134.933	1041
8917.454614	1065	9320.140858	1059	9725.062066	1050	10148.34656	1041
8928.721487	1065	9333.13059	1059	9735.858151	1049	10161.76012	1041
8939.98836	1065	9346.120323	1059	9746.654237	1048	10175.17368	1041
8951.255233	1065	9359.110055	1059	9757.450323	1048	10187.55622	1041
8962.522106	1065	9372.099788	1059	9768.246408	1048	10199.93877	1040
8973.597112	1064	9385.089521	1058	9780.78867	1047	10212.32131	1040
8984.672118	1064	9402.235968	1058	9793.330931	1046	10224.70386	1040
8995.747124	1064	9419.382415	1057	9805.873193	1046	10237.0864	1039
9006.82213	1063	9430.616849	1058	9818.415454	1045	10251.85773	1038
9017.897137	1063	9441.851283	1059	9830.957716	1045	10266.62906	1038
9028.972143	1063	9453.085717	1060	9847.734578	1044	10281.40039	1037
9040.047149	1063	9464.320151	1060	9859.376394	1044	10296.17172	1035
9051.122155	1063	9475.554585	1060	9871.018209	1044	10310.6399	1034
9062.197161	1063	9486.789019	1060	9882.660025	1044	10325.10807	1034
9073.272167	1063	9498.023453	1059	9894.30184	1044	10339.57625	1033
9084.347173	1062	9508.342241	1059	9905.753108	1044	10354.04442	1032
9095.364427	1062	9518.661028	1059	9917.204375	1044	10368.51259	1032
9106.381681	1062	9528.979815	1059	9928.655643	1044	10382.98077	1031
9117.398935	1061	9540.418335	1059	9940.10691	1044	10397.44894	1031
9132.798426	1061	9551.856855	1059	9951.558178	1044	10410.06726	1029
9148.197917	1062	9563.295375	1060	9963.009445	1044	10422.68558	1029
9160.044553	1062	9576.262225	1059	9974.460713	1044	10435.3039	1028
9171.891189	1062	9589.229076	1059	9984.720727	1043	10447.92222	1028
9184.202715	1062	9600.078419	1059	9994.980741	1043	10460.54054	1027
9196.514241	1062	9610.927762	1058	10005.24076	1043	10473.15886	1027
9208.825766	1062	9621.777105	1057	10017.76565	1042	10485.77718	1026
9219.49849	1062	9631.845839	1057	10030.29054	1042	10498.3955	1026

DATOS DE ELEVACIÓN DE CADA ESTACIÓN SUBCUENCA QUEBRADA SECA Y RÍO BURIO							
Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)	Estación	Elevación (msnm)
10509.19208	1025	10816.3	1027	11117.08232	1021	11419.0234	1015
10519.98867	1024	10828	1026	11127.75163	1020	11431.22269	1015
10530.78525	1023	10845.7	1027	11140.0614	1020	11443.42198	1013
10541.58183	1023	10857.4	1027	11152.37117	1019	11455.62127	1013
10552.37841	1022	10869.1	1027	11164.68094	1018	11467.82056	1011
10568.34798	1021	10880.8	1026	11177.30539	1018	11482.44147	1007
10584.31756	1021	10892.5	1027	11189.92983	1018	11497.06238	1006
10600.28713	1021	10910.9	1026	11202.55427	1018	11511.68329	1006
10616.25671	1021	10922.1	1026	11215.17871	1019	11526.3042	1006
10629.35036	1021	10933.4	1026	11227.80315	1020	11540.92511	1007
10642.44401	1021	10944.6	1026	11240.80089	1021	11555.54602	1007
10652.91035	1022	10955.9	1026	11253.79862	1021	11570.16694	1006
10663.37669	1023	10967.1	1026	11266.79635	1021	11586.65029	1005
10673.84303	1024	10981.9	1027	11279.79408	1021	11603.13364	1004
10686.72884	1025	10996.7	1026	11294.85608	1021	11619.61699	1002
10699.61466	1025	11011.4	1026	11309.91808	1021	11633.16622	1000
10712.50047	1025	11029.6	1026	11324.98007	1021	11646.71545	1000
10725.32791	1025	11040.7	1025	11336.29162	1021	11660.26468	999
10738.15535	1025	11051.8	1024	11347.60316	1020	11676.17464	999
10750.98279	1026	11062.9	1023	11358.9147	1019	11692.0846	1000
10763.81023	1026	11074	1022	11370.22625	1018	11707.99455	1001
10778.31263	1026	11085.1	1022	11382.42554	1017		
10792.81504	1026	11095.7	1022	11394.62483	1017		
10804.54994	1026	11106.4	1021	11406.82411	1016		

CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 20 de enero del 2022

Señores (as)
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores (as)

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad No. 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por título **“ PREDISEÑO DEL PASO DE AGUA PLUVIAL EN LA QUEBRADA SECA, A LA ALTURA DE LA AUTOPISTA GENERAL CAÑAS, FRENTE A INDUSTRIAS LIZANO”**, del estudiante **Francisco González Grajales**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente

Firmado por EDITH RAISSA PIZARRO ALFARO (FIRMA)
PERSONA FÍSICA, CPF-04-0178-0133. Fecha declarada: 20/01/2022 05:47 PM
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; " "

Francisco González Grajales

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Licenciatura en Ingeniería Civil
Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista Nacional General Cañas, frente a industrias Lizano.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 20 del mes Enero de año 2022 a las 19:00. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:

FRANCISCO
ARTURO
GONZALEZ
GRAJALES
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por FRANCISCO
ARTURO GONZALEZ
GRAJALES (FIRMA)
Fecha: 2022.01.21
14:26:53 -06'00'



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)
Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Francisco González Grajales
De la Carrera / Programa:	Ingeniería Civil Licenciatura en Ingeniería Civil
Modalidad de TFG:	Proyecto Final de Graduación
Titulado:	Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista General Cañas, frente a Industrias Lizano

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "AUTOR"), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "OBRA"). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "UNIVERSIDAD"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD. **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

FRANCISCO
ARTURO
GONZALEZ
GRAJALES
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
FRANCISCO ARTURO
GONZALEZ
GRAJALES (FIRMA)
Fecha: 2022.01.21
16:17:51 -06'00'

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD**., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD**. puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 21 de Enero de 2022 a las 15:15

Firma del estudiante(s):

FRANCISCO
ARTURO
GONZALEZ
GRAJALES
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por FRANCISCO
ARTURO GONZALEZ
GRAJALES (FIRMA)
Fecha: 2022.01.21
15:18:13 -06'00'



TRIBUNAL ASESOR
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN (TFG)

Tutor de TFG:

Nombre: Alberto González Solera
Cédula: 0109190803 Carné: IC-16251

Lector de TFG:

Nombre: José María Ulate Zarate
Cédula: 113580339 Carné: IC-28825

Información del estudiante:

Nombre: Francisco Arturo González Grajales
Cédula: 0401470155 Carné: 20150230088
Teléfono: 87253411
Email: francisco.gonzalez6@ulatina.net



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "*Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista Nacional General Cañas, frente a Industrias Lizano*", por el (la) estudiante: Francisco Arturo González Grajales, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

Alberto Gonzalez Solera

Tutor

José María
Ulate
Zárate

Firmado digitalmente
por José María Ulate
Zárate
Fecha: 2022.01.17
20:58:17 -06'00'

José María Ulate Zárate

Lector

PABLO JOSE
TORRES
MORALES
(FIRMA)

Digitally signed by
PABLO JOSE
TORRES MORALES
(FIRMA)
Date: 2022.01.17
15:02:42 -06'00'

Pablo Torres Morales

Representante



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN

Heredia, 11 de enero de 2022.

Señores
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista Nacional General Cañas, frente a Industrias Lizano, elaborado por el estudiante: Francisco Arturo González Grajales, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el Grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

**ALBERTO
GONZALEZ
SOLERA (FIRMA)**

Firmado digitalmente por ALBERTO
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)
Nombre de reconocimiento (DN):
serialNumber=CFF-01-0919-0803,
sn=GONZALEZ SOLERA,
#DN=ALBERTO, o=CR, ou=PERSONA
FISICA, ou=CIDADANO, cn=ALBERTO
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)
Fecha: 2022.01.13 14:58:18 -06'00'
Versión de Adobe Acrobat: 2015.007.00000

Esp. Ing. Alberto González Solera
IC-16251
Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA
Fiscal de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.

CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL TUTOR Y DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 14 de enero de 2022

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Prediseño del paso de agua pluvial en la Quebrada Seca, a la altura de la Autopista Nacional General Cañas, frente a Industrias Lizano, elaborado por el estudiante Francisco González Grajales, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

José María
Ulate Zárate

Firmado digitalmente
por José María Ulate
Zárate
Fecha: 2022.01.14
11:10:45 -06'00'

Ing. José María Ulate Zárate

IC-28825