



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis probabilístico de inundaciones en función de los drenajes
existentes en vías de primer orden.**

**AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN
INGENIERO CIVIL**

**LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis probabilístico de inundaciones en función de los drenajes
existentes en vías de primer orden.**

**AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN
INGENIERO CIVIL**

**LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**Análisis probabilístico de inundaciones en función de los drenajes
existentes en vías de primer orden.**

**AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN
INGENIERO CIVIL**

**LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA
INGENIERA CIVIL**

ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE

**MACHALA
2023**

TITULACION 2023-2

por ABDUL AWUDU

Fecha de entrega: 21-feb-2024 09:53a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2300583123

Nombre del archivo: TESIS_FINAL-1.docx (4.89M)

Total de palabras: 13148

Total de caracteres: 70569

TITULACION 2023-2

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

journalingeniar.org

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

3

www.inamhi.gob.ec

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 50 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN y LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Análisis probabilístico de inundaciones en función de los drenajes existentes en vías de primer orden., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



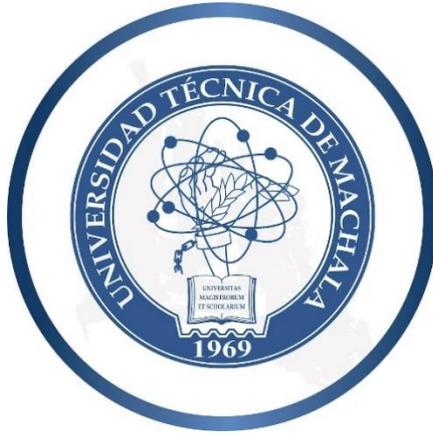
AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN

1718956368



LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA

0706341385



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA - UTMACH
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE INUNDACIONES EN FUNCIÓN DE
LOS DRENAJES EXISTENTES EN VÍAS DE PRIMER ORDEN”**

AWUDU MICOLTA ABDUL AMIN
LOAYZA FREIRE MARY DEYANIRA
AUTORES

TRABAJO DE TITULACIÓN: ARTÍCULO ACADÉMICO

ING. ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE, Mgs
TUTOR

MACHALA
2023-2024

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza y permitirme culminar esta etapa de mi vida. A mi padre Juberth Loayza por brindarme su apoyo incondicional en cada momento. Y de manera especial a mi madre y abuelita que desde el cielo me guían e iluminan para seguir adelante con mis proyectos.

Mary Deyanira Loayza Freire

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo a Dios y darle gracias por permitirme llegar y culminar esta etapa de mi vida y por darme fortaleza. Quiero darles gracias con el corazón a mis padres Patricia Micolta, Hadaru Awudu y mi hermano Musa, por haberme apoyado incondicionalmente en mis estudios a lo largo de estos años. Hay muchas personas que me han ayudado en momentos cruciales en mi vida académica, y es por ello que también, quiero agradecer de manera especial a la familia Viejó y a mi amigo Jorge González, por las veces que me brindaron su apoyo para cumplir con mis responsabilidades académicas. Y gracias a todas las personas que intervinieron para que pueda llegar a este momento.

Abdul Amin Awudu Micolta

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, extendemos nuestra gratitud a Dios por fortalecer nuestros corazones, por darnos el conocimiento y sabiduría, por sostenernos en los momentos más difíciles y permitirnos culminar con éxito la carrera de Ingeniería civil.

A nuestros familiares, por su apoyo brindado en los momentos difíciles, comprensión, consejos y amor.

A la Universidad Técnica de Machala, en especial a la facultad de Ingeniería Civil conjuntamente con su planta de docentes por compartir sus conocimientos, contribuyendo a nuestra formación profesional.

Nuestro agradecimiento de manera especial al Ing. Jesús Espinoza, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de este proyecto, por su apoyo y confianza en nuestro trabajo.

Mary Deyanira Loayza Freire

Abdul Amin Awudu Micolta

RESUMEN

La presente investigación se basa en el análisis de probabilidad de inundaciones, centrado en la capacidad hidráulica de los drenajes existentes en vías de primer orden, en la ciudad de Santa Rosa ubicada en Ecuador. La zona en donde se desarrolla el estudio tiene un historial de fuertes inundaciones, las cuales son consideradas como un evento meteorológico que puede llegar al nivel de un desastre natural en el caso más desfavorable, convirtiéndose en una gran amenaza en épocas de invierno. Es por ello que el objetivo del trabajo es evaluar el sistema de drenaje vial, mediante métodos de análisis hidrológicos e hidráulicos, para determinar la probabilidad de inundación a la que se ve expuesta la zona. Para llevar a cabo esta investigación se ha planteado una metodología que consta de tres partes: análisis hidrológico de la zona, análisis hidráulico de los drenajes y análisis probabilístico de inundaciones en función de las alcantarillas existentes en la vía de primer orden. Los resultados demuestran que el número de eventos posibles de inundación apunta a que la zona se inundará más de cinco veces en periodos de cinco años. En invierno de enero, febrero, marzo y junio, con los drenajes trabajando a toda su capacidad, la probabilidad de inundación es del 100%, lo que significa que el drenaje existente es incapaz de evacuar los caudales máximos hidrológicos. También se obtuvo en función de los caudales por periodos de retorno, que el drenaje puede soportar hasta 25 años trabajando a su máxima capacidad hidráulica.

Palabras claves: carretera, caudal, drenaje, hidráulica, hidrológico, inundación

ABSTRACT

This research is based on the analysis of the probability of flooding, focused on the hydraulic capacity of existing drainage in first order roads in the city of Santa Rosa, located in Ecuador. The area where the study is being carried out has a history of heavy flooding, which is considered a meteorological event that can reach the level of a natural disaster in the most unfavorable case, becoming a major threat in winter. Therefore, the objective of this work is to evaluate the road drainage system, by means of hydrological and hydraulic analysis methods, in order to determine the probability of flooding to which the area is exposed. In order to carry out this research, a methodology consisting of three parts has been proposed: hydrological analysis of the area, hydraulic analysis of the drains and probabilistic analysis of flooding based on the existing culverts in the first order road. The results show that the number of possible flood events suggests that the area will flood more than five times in five-year periods. In the winter of January, February, March and June, with the drains working at full capacity, the probability of flooding is 100%, which means that the existing drainage system is incapable of evacuating the maximum hydrological flows. It was also obtained, based on the return period flows, that the drainage can withstand up to 25 years working at its maximum hydraulic capacity.

Keywords: road, flow rate, drainage, hydraulics, hydrological, inundation

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN	9
1. CAPÍTULO I: Planteamiento del problema.....	10
1.1. Línea base del proyecto:	10
1.1.1. Población	10
1.1.2. Educación	10
1.1.3. Turismo	11
1.1.4. Relieve	11
1.1.5. Geología	12
1.1.6. Geomorfología.....	12
1.1.7. Taxonomía del suelo	13
1.1.8. Uso y cobertura del suelo.....	13
1.1.9. Información climática	14
1.1.10. Precipitaciones intensas	14
1.1.11. Hidrografía.....	15
1.1.12. Riesgo en el cantón	15
1.2. Descripción de la situación problemática.....	16
1.3. Formulación del problema: preguntas científicas.....	17
1.4. Delimitación del objeto de estudio:.....	17
1.5. Justificación:	18
1.6. Objetivos.....	18
1.6.1. Objetivo General:	18
1.6.2. Objetivos específicos:	18
2. CAPÍTULO II: Estado del arte	19
2.1. Antecedentes contextuales	19
2.2. Antecedentes referenciales	20
2.3. Antecedentes conceptuales	22
3. CAPITULO III: Metodología	24
3.1. Modalidad básica de la investigación	24
3.2. Tipo de investigación	24
3.3. Objeto de estudio	25
3.4. Métodos teóricos con los materiales utilizados	25

3.4.1.	Análisis hidráulico de alcantarillas.....	25
3.4.2.	Análisis hidrológico de la zona de estudio	26
3.4.3.	Análisis probabilístico	28
4.	CAPITULO IV: Análisis e interpretación de resultados	29
4.1.	Análisis hidrológico.....	29
4.1.1.	Coefficiente de escorrentía.....	30
4.1.2.	Intensidad de lluvia	30
4.1.3.	Tiempo de concentración.....	31
4.1.4.	Estimación de caudales máximos.....	32
4.2.	Análisis hidráulico de alcantarillas	32
4.2.1.	Estimación de caudales hidráulicos.....	32
4.2.2.	Cálculo de altura de inundación.....	33
4.3.	Análisis probabilístico de inundaciones.....	35
	CONCLUSIONES.....	39
	RECOMENDACIONES	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
	ANEXOS	44

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	Relieve	12
Ilustración 2	Uso y cobertura del suelo.....	13
Ilustración 3	Mapa clima histórico amenazas lluvias intensas periodo 1981-2015	14
Ilustración 4	Mapa de cuencas y microcuencas hidrográficas del cantón.....	15
Ilustración 5	Tramo de la zona de estudio de la vía	17
Ilustración 6	Áreas de Microcuencas de Tramo de la vía E25 Gasolinera la Victoria-Sector El Recreo.....	29
Ilustración 7	Curvas IDF	31
Ilustración 8	Esquema de cálculo de altura de inundación.....	33
Ilustración 9	Áreas de inundación aproximadas	34
Ilustración 10	Análisis probabilístico de inundación por mes, en periodos de un año ..	35
Ilustración 11	Análisis probabilístico de inundación por mes, una vez en periodos de cinco años.....	36
Ilustración 12	Análisis probabilístico de inundación por mes, dos veces en periodos de cinco años.....	37
Ilustración 13	Análisis probabilístico de inundación por mes, tres veces en periodos de cinco años.....	37

Ilustración 14 Análisis probabilístico de inundación por mes, cuatro veces en periodos de cinco años.....	38
Ilustración 15 Análisis probabilístico de inundación por mes, cinco veces en periodos de cinco años.....	38
Ilustración 16 Análisis probabilístico de inundación por periodo de retorno	39

Índice de tablas

Tabla 1 Resultados de áreas totales y de uso de suelo de microcuencas	29
Tabla 2 Resultados de coeficiente de escorrentía, para cada periodo de retorno.....	30
Tabla 3 Tabla de intensidades y tiempo de duración	30
Tabla 4 Tabla de parámetros físicos de microcuencas y tiempos de concentración	31
Tabla 5 Tabla de caudales máximos en función de cada periodo de retorno	32
Tabla 6 Tabla de caudales hidráulicos máximos, de cada ducto	32
Tabla 7 Tabla de alturas de inundación, para diferentes periodos de retorno	34
Tabla 8 Tabla de intervalos de inundación, para diferentes periodos de retorno.....	35

INTRODUCCIÓN

Importancia del tema

Las inundaciones, son consideradas como un evento meteorológico y/o un desastre natural, el cual representa una gran amenaza, cuando se desarrolla la etapa invernal, según datos de la United national Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), de los desastres suscitados relacionados con el agua, el 50% corresponden a inundaciones. Este evento, impacta de manera negativa el funcionamiento normal del sector productivo, social, comercial, y económico, entre otros. (Ernesto Hernández-Uribe et al., 2017). Así que, analizar las inundaciones, se ha vuelto muy importante por el riesgo al que se encuentra expuesta la población, por eso se han generado con los años métodos de procesamiento informático y representación espacial, que permiten identificar metodologías óptimas para plasmar e interpretar las condiciones específicas de cada área de investigación. (Diaconu et al., 2021)

Actualidad de la problemática

El presente artículo trata, sobre la realización de un análisis probabilístico de inundaciones en función de drenajes existentes en una vía de primer orden. El trabajo se centra en evaluar si los drenajes ya construidos, tienen la capacidad de evacuar los caudales máximos producidos por precipitaciones, se lo llevará a cabo aplicando diferentes períodos de retorno, y así en la posibilidad de que en algún momento se llegase a presentar la eventualidad de una precipitación máxima sin precedentes, determinar la probabilidad de que la vía de primer orden quede inundada, y bajo qué condiciones como, caudal, periodo de retorno, entre otros factores a considerar y conocer la capacidad máxima de colapso del drenaje vial existente.

Por efectos del cambio climático, la zona baja del cantón Santa Rosa, resalta la vulnerabilidad a inundaciones en donde según el PDOT del cantón, identifican alrededor de 23 zonas críticas. La zona noreste del cantón es en donde está la zona de estudio, ubicado en el margen del Rio Santa Rosa es una zona definida de muy alto riesgo. Por lo que es prioritario la realización de estudios y evaluación, para la realización de obras de mitigación de los territorios vulnerables. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, s. f.)

Estructura del trabajo.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I trata acerca de la introducción, en el cual se delimita el alcance del proyecto y la importancia del tema, además en el planteamiento del problema se emplea la línea base del proyecto, descripción de la problemática, preguntas científicas, justificación y los objetivos. En el

capítulo II se mencionará el Estado del arte, lo cual consiste en antecedentes contextuales, conceptuales y referenciales. El capítulo III se centrará en la metodología, el cual constan de tres procedimientos: Análisis hidráulico de alcantarillas, análisis hidrológico de la zona de estudio y análisis probabilístico. En el capítulo IV se dará a conocer el análisis e interpretación resultados y por último las conclusiones.

1. CAPÍTULO I: Planteamiento del problema

1.1. Línea base del proyecto:

1.1.1. Población

El último censo realizado en 2020 registró una población de 82,171 habitantes en el cantón Santa Rosa. El cantón cuenta con siete parroquias rurales y tiene una extensión de 906.65 km².

A lo largo del tiempo, el cantón Santa Rosa se ha venido desarrollando para brindar los servicios básicos a sus residentes, incluyendo el suministro de agua potable. La principal entidad encargada de este servicio es la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Rosa, que cubre el 80% de la población, mientras que el 20% restante se abastece a través de juntas de agua y servicios externos.

El sistema de alcantarillado en el área urbana es de tipo combinado y fue construido en 1976, pero ha alcanzado el final de su vida útil. Este sistema se divide en dos subredes con una longitud total de 80 km, las cuales se encargan de recoger las aguas residuales de los sectores que disponen del servicio. Estas aguas son conducidas por tuberías de asbesto cemento hacia dos estaciones de bombeo, que finalmente las llevan a unas lagunas de estabilización de 4 hectáreas. Hasta el censo de 2010, solo el 70% de la población cuenta con el servicio de alcantarillado.

En cuanto a la gestión de residuos, La Empresa Municipal de Aseo Santa Rosa (EMASEP) es la entidad responsable de la recolección de basura. Su cobertura abarca la mayoría de los asentamientos humanos en el cantón, atendiendo al 98% de la población urbana y al 95% de la zona rural.

1.1.2. Educación

Según la información proporcionada por el MINEDUC en 2020, actualmente hay 20,295 estudiantes matriculados en el cantón Santa Rosa, distribuidos en 76 unidades de sostenimiento fiscal, particular y fiscomisional. Además, se observa un índice de analfabetismo, que se define como el porcentaje de personas mayores de 15 años que no poseen habilidades de lectura o escritura. Según el censo de 2010, la tasa de

analfabetismo en el cantón Santa Rosa era del 4.3%, lo que corresponde a 2,481 personas mayores de 15 años, teniendo en cuenta la proyección para el año 2020.

1.1.3. Turismo

Actualmente, la planificación turística en el GAD cantonal no está bien estructurada para impulsar el turismo, a pesar de contar con lugares históricos y naturales en la zona. En la clasificación de lugares naturales, se identifican diversas categorías como montañas, llanuras, desiertos, entornos lacustres, ríos, bosques, aguas subterráneas, fenómenos espeleológicos, fenómenos geológicos, costas o litorales, entornos marinos y áreas insulares.

Por otro lado, en la clasificación de expresiones culturales e históricas, se reconocen formas como arquitectura, folklore, logros técnicos y científicos, así como eventos planificados.

1.1.4. Relieve

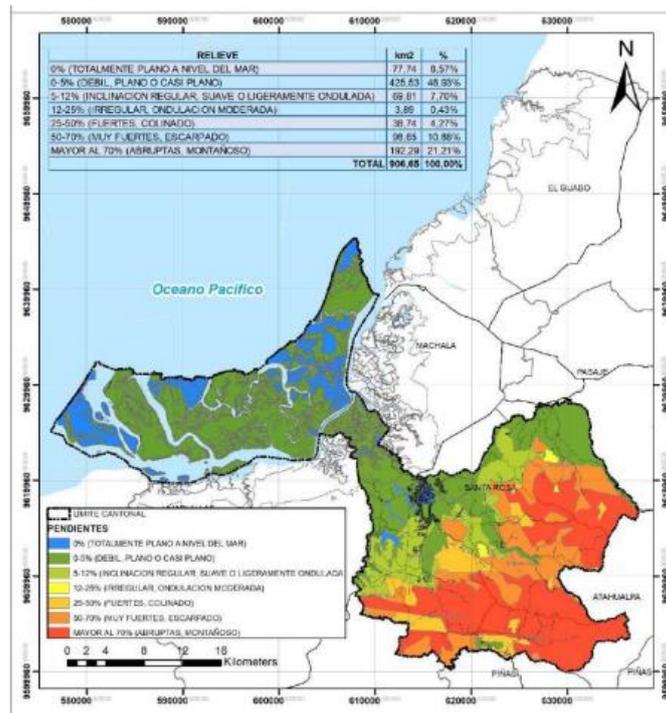
El cantón Santa Rosa tiene siete tipos de relieve, siendo el relieve débil el que predomina en su mayor extensión, prácticamente plano, dicho relieve abarca un 46,93% de la superficie del área, con pendientes que varían entre 0 y 5%. El segundo relieve que destaca en el territorio corresponde a un relieve montañoso, cubriendo el 21,21% de la extensión cantonal y con pendientes mayores al 70%. El tercer relieve pertenece a muy fuerte escarpado con el 10,88%, con pendientes que oscilan entre el 50 y 70%.

Las pendientes pronunciadas en los últimos relieves mencionados indican áreas que requieren preservación y protección, ya que estas pendientes son distintivas de bosques protectores y áreas de recarga, contribuyendo a la producción de agua en las elevaciones superiores de la montaña.

El 8,57% de la extensión del cantón se caracteriza por un relieve plano al nivel del mar, presentando una pendiente nula. Otro relieve presente en el cantón es de tipo regular, suave o ligeramente ondulado abarcando el 7,70% del territorio y con pendientes que varían entre el 5 y el 12%.

El 4,27% corresponde a un relieve fuerte colinado con pendientes que oscilan entre el 25 y el 50%. Finalmente, el 0,4% prácticamente imperceptible en la superficie del cantón, se refiere a un relieve irregular con una moderada ondulación y pendientes que van desde el 12 hasta el 25%.

Ilustración 1 Relieve



Fuente: Modelo de unidades geomorfológicas, Ministerio del ambiente, 2013.

1.1.5. Geología

La constitución geológica predominante en el cantón consiste en arcillas marinas de estuario, las cuales caracterizan suelos reconocidos por su fertilidad. Este tipo de suelo ha propiciado el desarrollo de vegetación y la constitución de plantaciones de banano como fuente económica, no obstante, la práctica del monocultivo se ha convertido en una sobreexplotación del suelo. Además, se observa un manejo inadecuado del suelo debido a la presencia de camaroneras, las cuales impactan negativamente en el ecosistema natural.

La porción restante del suelo exhibe niveles de fertilidad moderados y restricciones generales en su uso, siendo destinado principalmente para cultivos de ciclo corto y la cría de ganado, lo cual repercute negativamente en los bosques nativos.

1.1.6. Geomorfología

El cantón Santa Rosa tiene dos tipos de relieve general. En la región costera se encuentran llanuras, cerros testigo, colinas, terrazas y vertientes de costa en la cuenca baja del cantón. Por otra parte, en las zonas montañosas se presentan estribaciones andinas, terrazas y vertientes de montaña en la cuenca media y alta. En estas áreas, se localizan nacaderos de agua, zonas de recarga hídrica, bosques protectores y regiones exclusivamente designadas para la conservación.

1.1.7. Taxonomía del suelo

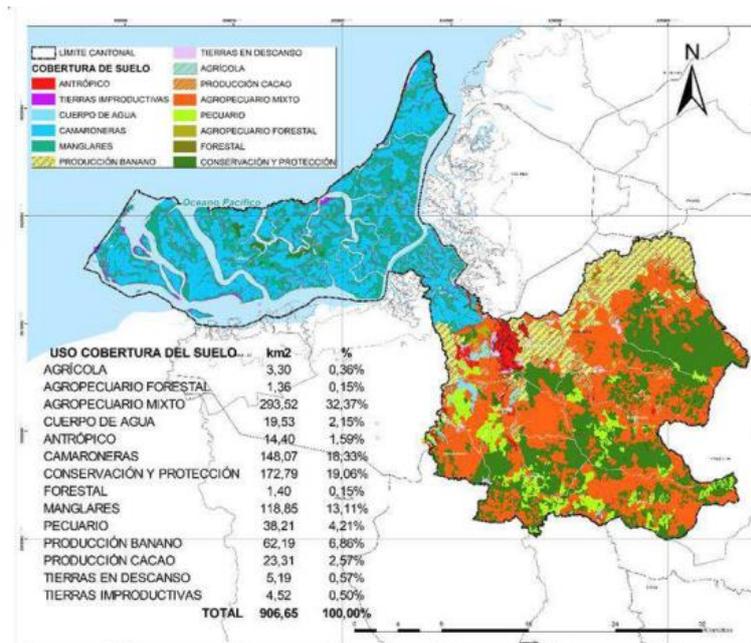
La composición del suelo en su mayoría presenta entisoles saturados de agua, especialmente en el Archipiélago de Jambelí y la cabecera cantonal, siendo áreas susceptibles a inundaciones y erosión. Otra clasificación de suelos presente en el cantón son los alfisoles, localizados en la zona central, que poseen reservas de nutrientes adecuadas para cultivos intensivos de ciclo corto y pastos. Por último, en la región nororiental se identifican inceptisoles, suelos adecuados para la producción de banano, cacao y maíz.

1.1.8. Uso y cobertura del suelo

El 62,68% del cantón está dedicado a actividades agropecuarias, dentro de las cuales el 32,37% se destina a usos agropecuarios mixtos. La presencia de camaroneras abarca un 16,33% de la superficie, mientras que el cultivo de banano en la parte noroccidental representa el 6,86%.

El 32,32% del área total está destinado para la conservación, distribuido en tres categorías. Un 19,06% se destina a la conservación y protección, mientras que, dentro de esta clasificación, el 13,11% corresponde a bosques de manglar. Los cuerpos de agua abarcan el 2,15% de la superficie territorial, y las áreas pobladas e infraestructuras del cantón comprenden el 1,59%. Por último, un 1,07% corresponde a otras categorías de tierras.

Ilustración 2 Uso y cobertura del suelo



Fuente: Geoportal del ministerio de agricultura y ganadería, 2018.

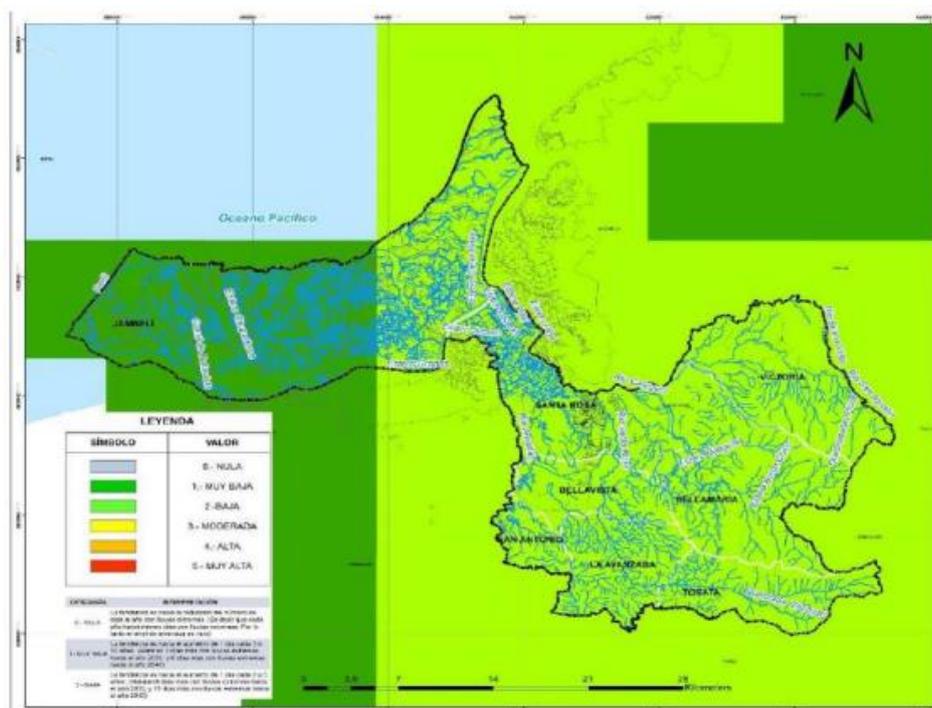
1.1.9. Información climática

La extensión terrestre del cantón presenta ocho regiones en relación con las temperaturas medias anuales. El rango térmico varía de 18 a 26°C, y estas temperaturas presentan variaciones en diversas zonas del cantón. En la parte central, que comprende el 54,98% del territorio, las temperaturas oscilan entre los 24 y 26°C. Sin embargo, la zona más cálida del cantón, representando el 25,43% del área, registra temperaturas entre los 25 y 26°C. También existen áreas donde la temperatura desciende, comprendiendo el 7% de la superficie territorial, con rangos térmicos entre 26 y 18°C.

1.1.10. Precipitaciones intensas

Según los registros climáticos históricos entre 1981 y 2015, se ha observado una tendencia al aumento en el número de días con lluvias extremas, registrándose seis días más hacia el año 2015 en comparación con 1981. Se ha evaluado el escenario más crítico para el período de 2016 a 2040 en relación con esta amenaza en la zona. Los datos señalan que se anticipa un aumento en la frecuencia de días con lluvias extremas en las áreas nororiental y occidental del cantón, proyectando 15 días adicionales hacia el año 2040. Las precipitaciones en la zona tienden a incrementarse a medida que el territorio se aleja del Océano Pacífico, específicamente en áreas de mayor pendiente.

Ilustración 3 Mapa clima histórico amenazas lluvias intensas periodo 1981-2015



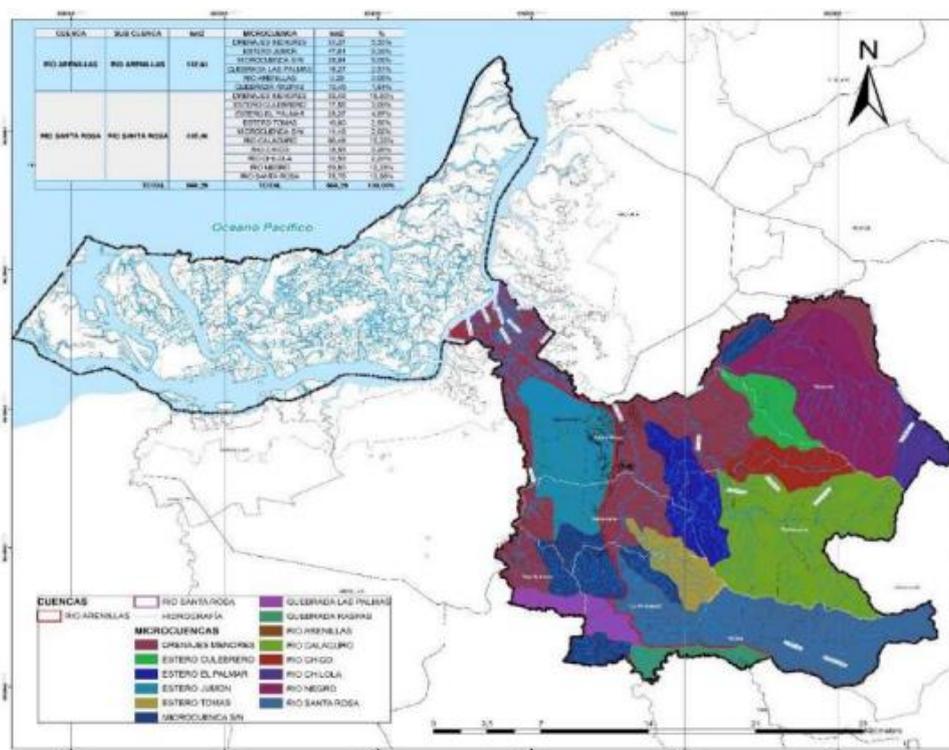
Fuente: Guía para la interpretación y uso de los escenarios de cambio climático MAE SNGR, 2019.

1.1.11. Hidrografía

El cantón Santa Rosa cuenta con dos cuencas hidrográficas de relevancia para la provincia: la cuenca del río Santa Rosa y la cuenca del río Arenillas.

La cuenca del río Santa Rosa, que abarca una porción muy significativa del cantón, representa el 76,63% de la superficie total, equivalente a 435,46 km². En cuanto a la cuenca del río Arenillas, ocupa el 23,38% del territorio cantonal, lo que corresponde a una superficie de drenaje de 132,84 km². Esta última cuenca recibe aportes de seis microcuencas.

Ilustración 4 Mapa de cuencas y microcuencas hidrográficas del cantón



Fuente: Catalogo de datos del IGM 2015.

1.1.12. Riesgo en el cantón

En el cantón se registran 293 eventos peligrosos, el 44% está relacionado con inundaciones e incendios forestales. La mayor afectación a personas está relacionada con la amenaza de inundación en la cabecera cantonal.

Alrededor del 48% de los eventos peligrosos en el cantón están asociados con inundaciones, y las parroquias situadas en terrenos planos experimentan zonas permanentemente inundadas, lo que conlleva un alto riesgo de inundación. La evaluación de amenazas en el cantón se fundamenta en la cantidad de eventos, su

frecuencia y el grado de impacto en la población. (PDOT SANTA ROSA 2019-2023, s. f.)

1.2. Descripción de la situación problemática

Cuando se presentan las precipitaciones en una vía, es esencial el buen funcionamiento del drenaje. Una de las muchas problemáticas que se presentan en estos casos, es la deficiente evacuación de las aguas lluvias, esto viene acompañado del estancamiento de agua por precipitación, y la falta de mantenimiento y limpieza de las alcantarillas.

Los problemas mencionados, son perjudiciales para el buen funcionamiento de una carretera, por ende, no le permite al usuario gozar de un buen servicio de vialidad, ni sentirse seguro cuando se presentan precipitaciones. Como efecto, de estos problemas, está el colapso de la infraestructura de drenaje vial, el desbordamiento de las alcantarillas, provocando como efecto ultimo el aumento del caudal máximo y la escorrentía superficial.

Otro de los problemas es el deficiente diseño vial existente en la vía E25 Troncal de la Costa, puesto que es una creciente preocupación en el Cantón Santa Rosa, ya que esto se hace evidente debido a la inadecuada planificación de la vía, por lo que surgen un conjunto de problemas que afectan negativamente la movilidad y seguridad de las personas en épocas lluviosas. Estos problemas provocan inundaciones en la vía, por ende, interrupción de la conectividad de transporte, cierre de la carretera y peligro para la seguridad vial. Además, la falta de un análisis hidrológico apropiado afecta aún más la situación, ya que no se tiene en cuenta las probabilidades de inundación, lo que puede originar en vías propensas a daños por lluvias intensas. Por otra parte, un problema que genera las inundaciones en la vía E25, es el inadecuado nivel de la vía, ya que es un problema que puede tener consecuencias en la funcionalidad y seguridad de la vía. Cuando el nivel de la vía no está correctamente ajustado a las condiciones topográficas, esto genera problemas como es el desbordamiento de los ríos, provocando inundaciones, colocando en peligro la seguridad de los usuarios de la vía y problemas de drenaje, lo que aumenta el riesgo de daños en la vía.

Un problema, que sin duda se sale de las manos y no se pueden evitar, son las precipitaciones intensas, esto conlleva el arrastre de sedimento no deseado, convirtiéndose en un problema preocupante, por la influencia del río Santa Rosa en los alrededores de la carretera E25 Troncal de la costa.

Las precipitaciones generan vulnerabilidad a inundaciones, esto traerá el taponamiento de las alcantarillas por el sedimento y provocará una pausa obligada en la movilización de transporte, y pérdidas económicas directas para los usuarios, y moradores aledaños.

1.3. Formulación del problema: preguntas científicas

¿La vía de primer orden Troncal de la costa E25 del cantón Santa Rosa es vulnerable a inundaciones en temporada invernal?

¿Cuáles son los métodos de análisis hidrológico para analizar las probabilidades de inundación con el fin de realizar una evaluación de drenajes viales?

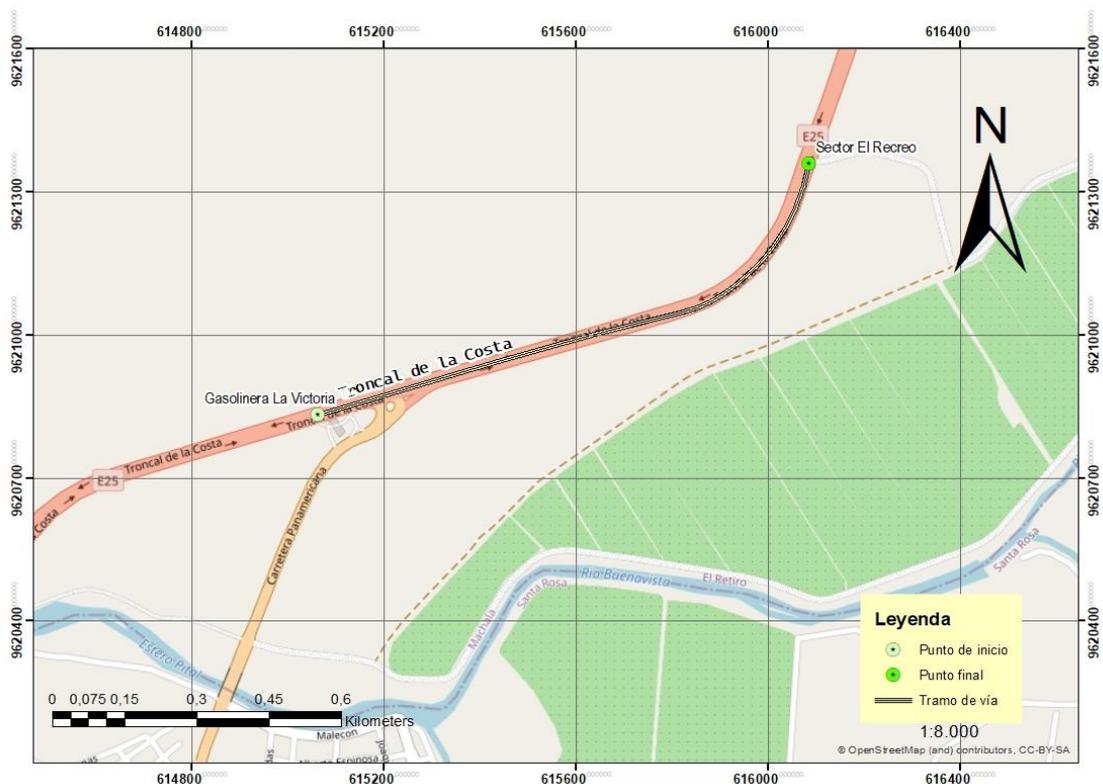
¿Cuál es el estado del drenaje vial en la vía de primer orden Troncal de la costa E25 del cantón Santa Rosa?

¿Cuáles son las probabilidades de inundación en la vía E25 Troncal de la costa, del tramo comprendido entre la gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo en función de los drenajes existentes?

1.4. Delimitación del objeto de estudio:

El siguiente trabajo tiene como objeto de estudio, la vía de primer orden E25 Troncal de la costa, ubicada en el cantón Santa Rosa, el tramo se encuentra comprendido desde, La gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo. Dado que este tramo de vía es el más afectado cuando se presentan lluvias intensas y desbordamiento del río Pital.

Ilustración 5 Tramo de la zona de estudio de la vía



Fuente: OpenStreetMap

1.5. Justificación:

Las fuertes precipitaciones, el desborde de ríos, y las inundaciones han sido fenómenos naturales recurrentes. Las inundaciones son una amenaza natural que afecta a la estabilidad social, mientras más asentamientos haya en zonas vulnerables a inundaciones, más riesgo este involucra, por lo que más efectos negativos se presentaran. Estos efectos negativos, golpean directamente a la economía municipal ya que tienen que invertir más en construcción y reparación de obras de drenaje. (Svetlana et al., 2015)

En los últimos años, se han presentado lluvias torrenciales en la temporada invernal en el cantón Santa Rosa, en donde la vía de primer orden que conecta al cantón, con la capital de la provincia de El Oro la ciudad de Machala, quedó totalmente inundada, tal suceso dejó grandes pérdidas económicas y contribuyó a la paralización del sector productivo del cantón. Este evento ocurrido, es la razón por la cual se despierta el interés de realizar este trabajo. En las próximas temporadas de invierno se pueden volver a presentar precipitaciones fuertes, por eso es importante, realizar un análisis de probabilidad de inundaciones en vías de primer orden, porque sabiendo en qué condiciones puede colapsar el drenaje vial.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General:

Evaluar el sistema de drenaje vial mediante métodos de análisis hidrológicos e hidráulicos para determinar la probabilidad de inundación en la vía E25 Troncal de la Costa, comprendido entre la gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo.

1.6.2. Objetivos específicos:

- Identificar los métodos de análisis hidrológicos e hidráulicos para la evaluación de drenajes viales mediante una investigación bibliográfica que permita el análisis de las probabilidades de inundación en el tramo de carretera comprendido entre la gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo, en la vía Troncal de la costa E25 del cantón Santa Rosa.
- Evaluar las condiciones del drenaje mediante métodos técnicos en el tramo de carretera comprendido entre la gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo, en la vía Troncal de la costa E25 del cantón Santa Rosa.
- Analizar los resultados obtenidos, mediante una metodología estadística para determinar las probabilidades y condiciones en las que se producen inundaciones.

2. CAPÍTULO II: Estado del arte

2.1. Antecedentes contextuales

Europa ha sido un escenario vulnerable a las inundaciones, por precipitaciones fuertes, lo que provoca el desborde de ríos, considerados peligros naturales muy dañinos. Se han tenido inundaciones preocupantes y muy costosas registradas en el año 2000. Desde ese entonces, entre los años 2009 y 2014, se han logrado mejorías importantes en la modelización del riesgo de inundaciones. En el año 2021, en un estudio realizado en Europa, sobre riesgos de inundación en carreteras, se usó una evaluación de riesgos utilizando un enfoque basado en cuadrículas, para poder determinar el nivel de daño en la infraestructura vial. En donde, se tomaron seis mapas ráster de inundación para periodos de retorno de 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años. Como resultados, compararon con cuatro métodos diferentes, y obtuvieron que el daño vial por inundaciones puede ser del 5 % al 10 % y llegar hasta el 60 % en casos específicos. (Van Ginkel et al., 2021). Se tiene claro que las inundaciones causan, daños, trastornos y víctimas, esto ha pasado a ser de gran consideración de toda Europa. En el caso de inundaciones del verano de 2007 en el Reino Unido, se tuvieron altos costos de reparación de las carreteras, a causa de estos eventos, el Reino Unido ha considerado realizar una evaluación del riesgo de inundación de todas las vías de primer orden previsto para la Red Estratégica de Carreteras. (SRN) de Highways England.

En el estudio “Riesgo de inundaciones para la red de carreteras estratégicas en Inglaterra” se usaron tres conjuntos de datos, nacionales sobre inundación, como el riesgo de inundaciones, mapas y áreas susceptibles a inundaciones por aguas subterráneas, como resultados, establecieron una serie de parámetros para calificar el riesgo de inundación y su afectación en la carretera, la evaluación depende del área local de frecuencia de inundación, de su gravedad y de la intersección de las carreteras, también determinaron que parte de los motivos de inundación, viene dado por la obstrucción de alcantarillas y llegaron a la conclusión de que es importante que se encuentren en constante mantenimiento. No obstante, para poder comprender la probabilidad de fallo por obstrucción, recomiendan realizar el modelado del drenaje hasta su fallo, usando los datos históricos sobre inundaciones, combinados con información sobre precipitaciones. (Hankin et al., 2016)

El tema de las inundaciones convertidas en catástrofes naturales es un evento que se ocurre en muchos lugares. A nivel regional, en este medio en donde el clima, la topografía del terreno de la región, tienen similitudes. Se tiene el caso del gran La Plata en el país de Argentina, en donde el 2 y 3 de abril del 2013 se registró una precipitación máxima de 400 mm, y durante seis horas lluvia 313 mm, este desastre natural, dejó

alrededor de 89 muertes y muchas vías importantes, intransitables e incomunicadas. (Carlos Etulain & López, 2017)

Ecuador ha tenido muchos eventos naturales en los últimos 35 años, siendo las inundaciones y las fuertes lluvias responsables del 44 % de los daños más graves y destructivos. Estos episodios han generado daños significativos en la agricultura, aislamiento de comunidades, origen de epidemias y consecuencias socioeconómicas adversas. Estas inundaciones suelen tener su origen en diversos factores, como las precipitaciones estacionales, obstrucción de ríos, eventos meteorológicos extremos, rupturas de presas, sistemas de drenaje deficientes, entre otros.

En Ecuador, la región costera es susceptible a inundaciones, sobre todo por la existencia de extensas llanuras próximas a los ríos que tienden a inundarse frecuentemente. La acumulación de sedimentos y la presencia de comunidades asentadas en las zonas propensas a inundaciones aumentan de forma considerable la vulnerabilidad a eventos de esta naturaleza. (Stefania Vallecilla-Ponce et al., 2022)

Según el servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, desde el comienzo del año hasta el 5 de junio de 2023, un total de 154 situaciones de riesgo se han producido en los 14 cantones de la provincia de El Oro por las intensas lluvias. Siendo el Cantón Santa Rosa uno de los más afectados, debido a las particularidades de la topografía de las cuencas hídricas, la intensidad de las precipitaciones, la concentración de las lluvias en intervalos breves y la influencia del fenómeno del Niño. Durante este año, en el cantón Santa Rosa se han registrado un total de 637 familias afectadas, 585 viviendas afectadas y 0,19 kilómetros lineales de vías afectadas, lo cual ha ocasionado pérdidas económicas significativas y la recurrencia de este acontecimiento conlleva consecuencias graves. (Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos, s. f.)

2.2. Antecedentes referenciales

Según Martínez y Sánchez en el siguiente artículo, estipulan que existen zonas urbanas, rurales o en la intemperie susceptibles a inundaciones, en donde, se evalúan redes de drenaje con un modelo de inundación 1D y 2D, para determinar la capacidad del sistema de drenaje, y se mezclaron datos computacionales de inundación, y se evalúan simulaciones de eventos de lluvia con diferentes periodos de retorno. Para los requisitos de datos en 1D, se utilizan subcuencas con sus respectivos parámetros hidrológicos, los parámetros para la caracterización de la subcuenca incluyen nodos de entrada, salida, pendiente del terreno, depósitos de depresión y características de infiltración del suelo. Las precipitaciones se aplicarán a su área con hietogramas para así describir los

eventos considerando su intensidad, duración y frecuencia. Los datos a usar para el modelo 2D incluyen un modelo digital de elevación (DEM). (Martínez et al., 2018)

Para llevar a cabo el estudio referente a inundaciones, es importante recopilar los datos apropiados, que permitan obtener productos satisfactorios y reales. En la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se realizó una investigación sobre inundaciones, y lo que postula, en primera instancia, es la recolección y procesamiento de datos, para el diagnóstico del sistema de drenaje. Tales como lo son, la utilización de programas informáticos como Google Earth y Arcgis, para poder obtener y procesar la topografía del terreno. Asimismo, sirve para delimitar las subcuencas y microcuencas, a través del software Arcgis se puede direccionar el flujo y conocer su acumulación. Para la determinación del tiempo de concentración se puede usar la ecuación de Kirpich y California. Estas dos ecuaciones son muy usadas para cuencas medianas, tienen pendiente, el uso de suelo es vegetal y se usan para zonas con medio ambiente.

Para determinar el caudal de agua de lluvia hay que obtener valores de intensidad, duración y frecuencia de precipitación promedio, datos obtenidos de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El objetivo de recopilar datos de precipitaciones es calcular los valores de intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno, como T (2, 5, 10, 25, 50 y 100) años. No obstante, hay que considerar el coeficiente de escurrimiento (C) según el uso de suelo de la zona de estudio.

El método usado en este estudio de la ESPOL fue el racional en el que se necesita como datos principales el coeficiente de escurrimiento (C), intensidad de lluvia (I) y el área estimada de las microcuencas (A). ((Merchán-Sanmartín et al., 2023) (Matamoros et al., 2020)

Medir para determinar la sección geométrica, dimensiones, pendientes y condiciones actuales de las alcantarillas existentes en la vía, para así poder determinar su caudal de capacidad hidráulica, para el transporte de aguas pluviales. (Arellano-Choca et al., 2020)

La ecuación desarrollada por Robert Manning, para determinar el caudal en canales abiertos o en secciones que no son sometidas a presión, demanda información como, la rugosidad, el radio hidráulico, pendiente longitudinal, y área de la sección transversal. (Merchán-Sanmartín et al., 2023)

Para llevar a cabo, una apropiada la manipulación de datos, y analizar la probabilidad de inundación. La distribución binomial, funciona bien para muestras grandes y para

eventos muy escasos. La aplicación de la distribución binomial presenta la probabilidad de que un posible evento ocurra, combinando diferentes variables aleatorias de manera independiente a lo largo del tiempo, arrojando un resultado concreto para cada una de las combinaciones de datos. (Alvarado & Batanero, 2008; Navarro et al., 2001)

2.3. Antecedentes conceptuales

La eficacia de las estructuras de drenaje requiere de dos aspectos: (a) el tiempo de retorno de los caudales que pueden ser drenados se ajuste en comparación con los posibles daños; (b) y la probabilidad de que se obstruyan total o parcialmente, por especificaciones técnicas de diseño y construcción, y la actividad natural del sistema fluvial, que puede afectar su funcionamiento.

Una obra de drenaje transversal con mal funcionamiento por su incapacidad para drenar el agua puede afectar negativamente al elevar el nivel de agua en el cauce, lo que provocaría inundaciones en áreas cercanas a carreteras, ocasionando daños de distintas magnitudes en las propiedades. Se considera peligroso cualquier nivel de agua en la superficie que impida mantener un margen libre de al menos 10 cm. En el sistema de drenaje superficial, la velocidad del caudal debe controlarse para prevenir problemas de erosión o acumulación de sedimentos. Si el producto de la velocidad y la profundidad del cauce supera el valor 0,5, la carretera se vuelve completamente intransitable. (Conesa García & Lorenzo, 2011)

Las actividades realizadas por las personas han aumentado la liberación de gases que causan el efecto invernadero, lo cual ha generado cambios en la frecuencia, duración y distribución espacial de los eventos de lluvias intensas. Desde la década de 1990, la cantidad de eventos extremos provocados por el cambio climático ha incrementado el doble, siendo los desastres relacionados con inundaciones que han experimentado el mayor incremento, alcanzando un 65%. (Ren et al., 2021)

Cenapred sostiene que las inundaciones ocurren cuando la lluvia en una cuenca supera la capacidad de los ríos, provocando su desbordamiento y cubriendo áreas bajas, afectando a comunidades. Pueden ser causadas por lluvias intensas, ciclones, fallos en infraestructuras o actividades humanas. ((Roblero-Hidalgo et al., 2022)

Además, se comprende por inundación como un tipo de desastre natural frecuente en la mayoría de las áreas urbanas a nivel mundial, especialmente debido al rápido crecimiento de las ciudades. El proceso de urbanización acelerada conlleva la expansión constante de superficies impermeables, lo que aumenta la cantidad de agua de escorrentía y el volumen de las inundaciones. (Ramos & Besharat, 2021)

Según Arreguín y López, tras examinar diversos casos de inundaciones, determinaron que las inundaciones fluviales se asocian con lluvias intensas en cuencas grandes, mientras que las pluviales pueden originarse por lluvias intensas de corta duración en cuencas más pequeñas. (Arreguín Felipe, 2016)

El tiempo de concentración desempeña un papel fundamental en la aplicación de modelos de escorrentía pluvial que estiman el caudal máximo en un punto específico de una cuenca. Así mismo, se entiende por tiempo de concentración de cualquier ubicación en un sistema de drenaje como la suma del tiempo de entrada que (representa el tiempo que tarda una gota de lluvia desde donde nace la cuenca en llegar hasta su desembocadura) y el tiempo de flujo t_f , ubicadas aguas arriba del flujo de salida en las zonas de captación de la cuenca urbana. (Castillo García et al., 2021) Según ONN (2018), se considera que el tiempo de concentración puede definirse a partir de la observación de la escorrentía superficial.

Según los autores Almheiri et al. señalan que los estudios de probabilidad hidrológicos involucran el análisis de datos históricos con el fin de determinar la probabilidad de que ciertos eventos hidrológicos, como inundaciones, ocurran en el futuro. ((Almheiri et al., 2023) Estos estudios abarcan análisis y técnicas usadas en la hidrología para comprender y analizar la variabilidad de eventos hidrológicos, como inundaciones, precipitaciones y caudales de ríos. El objetivo de los estudios de probabilidad hidrológicos según Maksimovskaya es comprender la distribución, el flujo y la calidad del recurso hídrico, además de indagar las relaciones entre el agua y otros elementos del entorno natural. Estos estudios proporcionan información importante para diversos propósitos, como la gestión de recursos hídricos, observación ambiental y reducción de impactos de peligros naturales como inundaciones. (Maksimovskaya, 2023)

La evaluación de los sistemas de drenaje se refiere a un proceso en el que se analiza el rendimiento y la eficacia de los sistemas, lo que conlleva medir indicadores y parámetros para evaluar la capacidad del sistema con el fin de gestionar la escorrentía del agua de lluvia y reducir los impactos negativos en el ámbito social y ambiental. Moura et al. en el artículo denominado “Evaluación del desempeño de los sistemas de drenaje urbano: un enfoque de proceso de jerarquía analítica para la cuenca de Jaracati en Brasil” desarrollaron un modelo de evaluación mediante la utilización de indicadores de fragilidad del sistema (IFS) y el proceso de jerarquía analítica (AHP), cuyo propósito es medir los parámetros de desempeño de los sistemas de drenaje urbano. (Pereira et al., 2023) Además, la evaluación de los sistemas de drenaje implica evaluar la capacidad de un sistema para administrar de manera efectiva el escurrimiento de las aguas de

lluvia. (Rujner et al., 2022) Cabe destacar que un drenaje vial se basa en un proceso de eliminar el exceso de agua de la superficie de una vía con el fin de prevenir la acumulación y daños. Este aspecto es muy importante en la infraestructura vial para garantizar la seguridad vial. Domenech et al. mencionan que estos drenajes están diseñados para gestionar y controlar el flujo de aguas pluviales y residuales. (Andrés-Doménech et al., 2021)

La distribución binomial es un modelo de probabilidad que se emplea cuando hay dos posibles resultados en cada prueba. Suele ser beneficioso en situaciones donde el resultado es de naturaleza dicotómica, es decir puede clasificarse como éxito o fracaso. (Aashna, 2021) Según Sirbiladzd et al. la distribución binomial se desarrolla tomando en cuenta una serie de ensayos independientes de Bernoulli, donde cada ensayo posee dos resultados posibles. Se puede calcular la probabilidad de lograr un número específico de éxitos en un número determinado de intentos, bajo la suposición de que la probabilidad de éxito es constante y que las pruebas son independientes. (Sirbiladze et al., 2022) Otros autores como Amry et al. también mencionan que la distribución binomial es una distribución de probabilidad reservada que describe la cantidad de éxitos en un número fijo de ensayos independientes de Bernoulli. (Amry & Nadia Amalia, 2022)

Se entiende por caudal hidráulico como un movimiento del fluido a través de un sistema, como tuberías o canales. Mediante el análisis del caudal hidráulico, los ingenieros tienen la oportunidad de mejorar el diseño de los sistemas hidráulicos para mejorar su eficacia, rendimiento y confiabilidad. Esto implica la optimización de elementos como la geometría de la tubería, los caudales y las variaciones de presión para alcanzar los resultados deseados. (Zuikov & Suehtina, 2019)

3. CAPITULO III: Metodología

3.1. Modalidad básica de la investigación

La investigación constituye un proceso que, utilizando el método científico, recopila información relevante y confiable con el propósito de comprender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento. En este trabajo se aplicará una modalidad investigativa (Vega & Danilo, 2019).

3.2. Tipo de investigación

La investigación a desarrollarse será de tipo documental y de campo, en lo que respecta a documental se enfocará en la recolección de información en bases de datos y en cuanto a campo, la información proviene de la observación directa del fenómeno a

investigar, por ello se realizará un recorrido a la zona de estudio para evaluar el estado de las alcantarillas existentes (Relat, 2010).

3.3. Objeto de estudio

El objeto de estudio será la vía de primer orden E25 Troncal de la costa, comprendido desde, La gasolinera La Victoria hasta el sector El Recreo, como lo muestra la ilustración 5, ya que los ductos de todo este tramo han sido afectados por precipitaciones intensas y desbordamiento del río Pital.

3.4. Métodos teóricos con los materiales utilizados

El presente trabajo de investigación tiene una parte documental, de campo e interpretación de resultados, en esta última se plantea realizar un análisis probabilístico de inundaciones en función de drenajes existentes en la vía de primer orden E25 Troncal de la costa, de acuerdo con los conceptos de la parte documental del capítulo II se efectúa una investigación del área de estudio, a través de una observación rigurosa de campo con registros fotográficos que contribuirán para el análisis e interpretación de datos. A partir de los resultados se elaborará probabilidades con el método de distribución binomial para determinar cuál es la probabilidad de inundación en la zona de estudio.

3.4.1. Análisis hidráulico de alcantarillas

Para llevar a cabo este análisis es indispensable obtener el caudal hidráulico que puede soportar. Por lo tanto, se realizó nivelación geométrica de la zona con el fin de obtener las respectivas cotas partiendo de una placa geodésica del Ministerio de transporte y Obras Públicas con nomenclatura MR7H-21 con una altura geométrica de 4,043 m con coordenadas planas E: 615577,8366 N: 9620998,6481. Luego se continuó con la medición de longitud de alcantarillas y el cálculo de pendientes, puesto que la nivelación se basa en la identificación de diferencias de elevación entre distintos puntos en una superficie de terreno. Además, se efectuó revisión de las estructuras de drenaje existentes en la zona con el propósito de evaluar su condición, ubicación, capacidad con la que trabajan, el tipo y dimensiones. Se consideró la trabajabilidad de las alcantarillas tomando en cuenta la posibilidad de obstrucción, haciendo que las alcantarillas operen en distintos porcentajes de su capacidad.

Posteriormente, se procedió a determinar los caudales hidráulicos de los ductos cajones a través del método de Gauckler Manning (Ven te Chow, 1994) cuya fórmula es la siguiente:

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

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

A= Área Hidráulica (m²)

S= Pendiente (m/m)

R= Radio Hidráulico (m)

n= Coeficiente de Manning

P= Perímetro Mojado

La fórmula de Manning se utiliza para calcular el flujo en ríos, utilizando como referencias los parámetros hidráulicos, como el radio hidráulico, la pendiente hidráulica y el área hidráulica (Díaz-Salas et al., 2020).

El coeficiente de rugosidad (n) se seleccionó en base a la tabla 1 de Ven Te Chow, (Ven te Chow, 1994) en el que se eligió a 0,014 puesto que las alcantarillas son de concreto sin pulir.

3.4.2. Análisis hidrológico de la zona de estudio

Una cuenca hidrográfica se define como la zona de la superficie de la tierra donde todas las gotas de agua resultantes de una precipitación, al caer sobre ella, fluyen en una dirección común hacia un punto de salida particular. Por lo general, este punto de salida se encuentra a la menor elevación en toda la cuenca (Ramón et al., s. f.).

Para la obtención de datos se realizó modelación hidrológica y análisis probabilístico, que son fundamentales en este proyecto de investigación.

Se procedió a obtener datos de precipitación máxima mensual de 22 años de registro mediante el satélite Giovanni, puesto que en la zona de estudio no existe una estación meteorológica.

Mediante el software ArcGIS, se importó el modelo digital de elevación DEM de 12.5x12.5 pixeles de tamaño de la página de la NASA para identificar los cauces y delinear las áreas de las microcuencas que contribuyen con el caudal en la zona de estudio. Este modelo digital de elevación requiere de un sistema de coordenadas UTM que incluye componentes horizontales y verticales, los cuales deben ser detallados en los metadatos (Guth et al., 2021).

Luego, se elaboró el cálculo de intensidad de lluvia para los siguientes períodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. Intensidad de lluvia se define como la cantidad de lluvia que cae en un punto, por el tiempo que dura la tormenta. La intensidad representa la cantidad de agua que ha caído, medida en milímetros por unidad de tiempo, la cual puede ser instantánea o promedio, considerando la duración completa de la lluvia (Ing Wilmer Guachamín Ing Fernando García Ing Miguel Arteaga Blgo Jorge Cadena, 2015). Para determinar las intensidades de lluvia, se empleó la fórmula de Sherman mejorada por Bernard, la cual se presenta a continuación:

$$I = \frac{K \times T^m}{(tc)^n}$$

Donde:

I=Intensidad de lluvia (mm/H)

T=Período de retorno (años)

K=Término constante de regresión

m=Coefficiente de regresión

tc=Tiempo de concentración (min)

n= Reconocimiento de ubicaciones geográficas

Para delimitación de microcuencas se utilizó el software ArcGIS versión 10.8, en la cual se obtuvo la caracterización hidrológica de cada una de las microcuencas, como su longitud máxima del cauce, la cual es la medida de la distancia más larga recorrida por las partículas de flujo, comprendida entre el punto más alto y el punto más bajo del cauce, además se determinó la pendiente de cada microcuenca, la cota máxima y mínima de cada microcuenca.

El tiempo de concentración es el tiempo que demora una gota de agua en llegar desde el punto más alto de una cuenca hasta el punto más bajo. Para este caso se utilizó dos ecuaciones con el fin de comprobar valores, dichas fórmulas se presentan a continuación:

Kirpich:

$$Tc = 0,000323 \times \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right)$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

S= Pendiente (m/m)

California:

$$Tc = \left(\frac{0,87 \times L^3}{C_{Mc} - C_{mc}} \right)^{0,385}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

C_{Mc} = Cota máxima

C_{mc} = Cota mínima

Para el cálculo de coeficiente de escorrentía se identificó áreas de uso de suelo de cada microcuenca, realizando el cálculo con coeficientes ponderados para cada área, ya que este determina que proporción de la precipitación total se transforma en escorrentía superficial, considerando las condiciones del entorno como la permeabilidad del suelo, pendiente longitudinal, morfología y la vegetación presente. Para este cálculo se usó las tablas de Ven Te Chow (Ven te Chow, 1994). Posteriormente, para determinar el caudal hidrológico de cada microcuenca se utilizó el método racional, dado que calcula el caudal máximo de aguas lluvias. La ecuación del método racional es la siguiente:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/seg)

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de precipitación (mm/h)

A= Área de aportación (Km^2)

3.4.3. Análisis probabilístico

Obtenidos los caudales hidrológicos e hidráulicos, se realizaron los cálculos para el análisis probabilístico de inundación para determinar si las alcantarillas pueden o no soportar los caudales máximos hidrológicos de las microcuencas de estudio. A través del método de Distribución Binomial se determinó la probabilidad de inundación. La fórmula es la siguiente:

$$P(x = a) = \binom{n}{a} P^a (1 - P)^{n-a}$$

Donde:

P= Probabilidad de éxito

x= Número de éxitos en las n réplicas

n= Número de réplicas

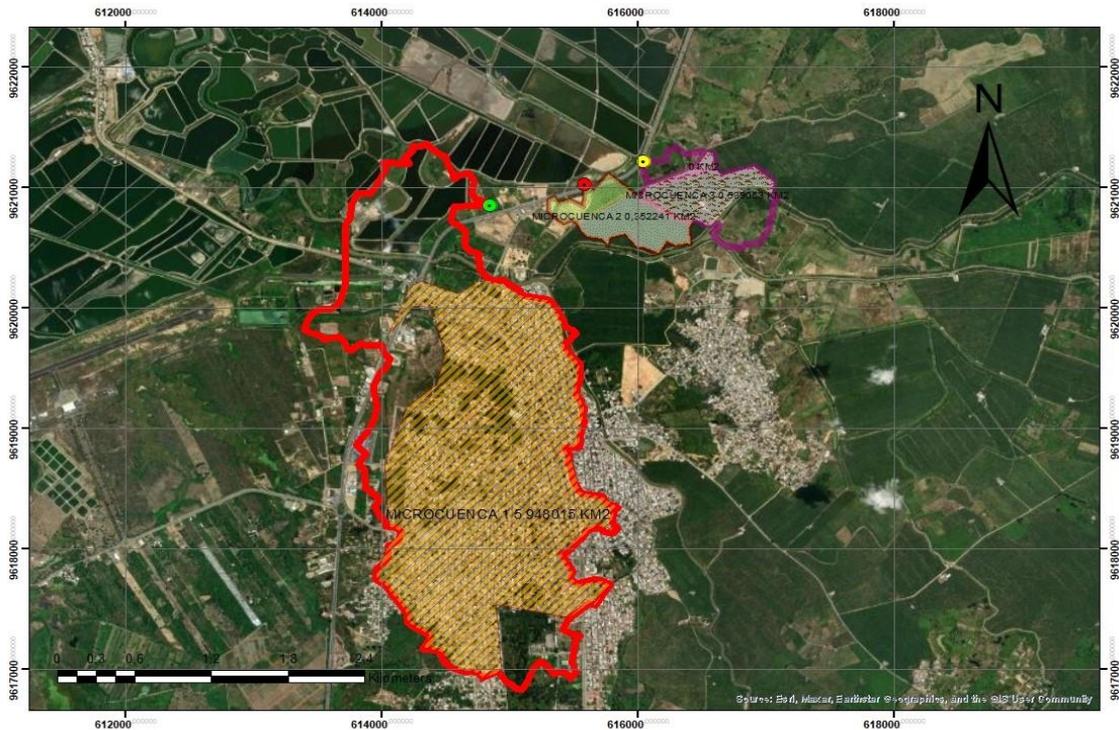
4. CAPITULO IV: Análisis e interpretación de resultados

A continuación, se presentan los resultados de las tres partes planteadas en la metodología, correspondientes al análisis hidrológico de la zona, análisis hidráulico de los drenajes y probabilidades de inundación de la zona.

4.1. Análisis hidrológico

Se realizó el proceso de trabajo con un modelo digital de elevación, en el software ArcMap para posteriormente reconocer las cuencas hidrográficas que inciden en la carretera. Y se obtuvo los siguientes resultados.

Ilustración 6 Áreas de Microcuencas de Tramo de la vía E25 Gasolinera la Victoria-Sector El Recreo



Fuente: Los autores

Tabla 1 Resultados de áreas totales y de uso de suelo de microcuencas

Microcuencas	Área total (km2)	Área de cultivos (km2)	Área de vegetación ligera (km2)	Área urbana (km2)
1	5,95	0	2,02	3,93
2	0,36	0,244	0,07	0,04464
3	0,54	0,29096	0,24904	0

Fuente: Los autores

4.1.1. Coeficiente de escorrentía

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se tuvo en consideración los diferentes usos de suelo correspondientes a cada microcuenca, y luego se calculó un coeficiente de escorrentía ponderado, para cada periodo de retorno, según la tabla de Ven Te Chow. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2 Resultados de coeficiente de escorrentía, para cada periodo de retorno

Microcuenca	Periodos de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
1	0,59	0,62	0,66	0,70	0,74	0,79	0,86
2	0,36	0,38	0,40	0,44	0,47	0,51	0,61
3	0,31	0,30	0,32	0,36	0,39	0,43	0,53

Fuente: Los autores

4.1.2. Intensidad de lluvia

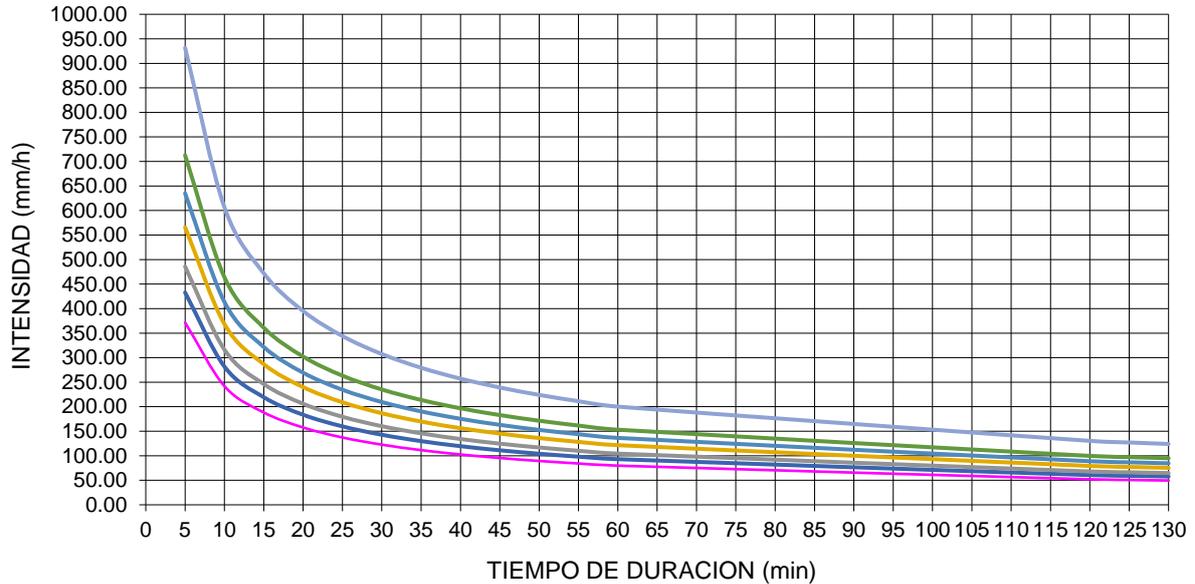
En la obtención de la intensidad de lluvia, fue necesario obtener las curvas IDF obteniendo datos de precipitación por medio del satélite de la NASA Geovanni, posteriormente se hizo uso de la fórmula de Sherman. El cálculo se especifica en el apartado de Anexos.

Tabla 3 Tabla de intensidades y tiempo de duración

Tabla de intensidades - Tiempo de duración															
Frecuencia	Duración en minutos														
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	125	130
2	371,67	242,03	188,32	157,61	137,28	122,63	111,47	102,63	95,42	89,40	84,27	79,86	52,00	50,70	49,49
5	432,90	281,90	219,34	183,57	159,89	142,83	129,84	119,54	111,14	104,12	98,16	93,01	60,57	59,06	57,64
10	485,82	316,36	246,16	206,01	179,44	160,30	145,71	134,15	124,72	116,85	110,16	104,38	67,97	66,28	64,69
25	565,85	368,47	286,70	239,95	209,00	186,70	169,71	156,25	145,27	136,10	128,30	121,58	79,17	77,19	75,34
50	635,03	413,53	321,76	269,28	234,55	209,53	190,46	175,35	163,03	152,74	143,99	136,44	88,85	86,63	84,56
100	712,67	464,08	361,10	302,21	263,23	235,14	213,75	196,79	182,96	171,41	161,59	153,12	99,71	97,22	94,89
500	931,55	606,61	472,00	395,02	344,07	307,36	279,39	257,23	239,15	224,06	211,22	200,15	130,34	127,08	124,04

Fuente: Los autores

Curvas IDF de la cuenca



Fuente: Los autores

4.1.3. Tiempo de concentración

Para completar el cálculo para llegar al caudal máximo hidrológico, no se puede soslayar el tiempo de concentración de cada microcuenca, se han usado dos ecuaciones para corroborar resultados, la ecuación de Kirpich y California. También se adjuntan los parámetros físicos de cada microcuenca. Los resultados son los siguientes.

Tabla 4 Tabla de parámetros físicos de microcuencas y tiempos de concentración

Microcuencas	Longitud del cauce (m)	Cota Max	Cota min	Pendiente m/m	Tiempo de concentración (h)	Tiempo de concentración (min)
1	5340	32	13	0,00356	2,100	125,99
2	930	22	13	0,00968	0,372	22,31
3	1200	25	13	0,01000	0,447	26,81

Fuente: Los autores

Para la primera microcuenca se eligió un tiempo de concentración de 125 min, para la dos un Tc de 25 min y para la tres un Tc de 30 min.

4.1.4. Estimación de caudales máximos

Una vez obtenidos los insumos como la intensidad de lluvia, el área de las microcuencas y el coeficiente de escorrentía, se puede proceder a calcular el caudal hidrológico, de cada una de las mismas, mediante el método racional. Los resultados son los siguientes.

Tabla 5 Tabla de caudales máximos en función de cada periodo de retorno

		CAUDALES MÁXIMOS (m ³ /s)						
		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
MICROCUENCA	AREA (KM ²)	2	5	10	25	50	100	500
1	5,95	49,51	60,91	72,37	89,80	106,51	126,47	180,09
2	0,36	5,00	6,01	7,18	9,19	11,09	13,53	20,85
3	0,54	5,79	6,40	7,77	10,04	12,35	15,28	24,37
	TOTAL	60,30	73,32	87,32	109,03	129,95	155,28	225,31

Fuente: Los autores

4.2. Análisis hidráulico de alcantarillas

4.2.1. Estimación de caudales hidráulicos

Para la obtención de los caudales hidráulicos, se realizó un levantamiento visual de la carretera en donde se identificaron siete alcantarillas del tipo ducto cajón, en la zona de estudio. En donde, mediante la ecuación de Manning, identificando las secciones de cada ducto para determinar su área, perímetro, radio hidráulico, en suma, su coeficiente de rugosidad, pendiente y longitud. Se determino el caudal hidráulico máximo que puede transportar cada ducto. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 6 Tabla de caudales hidráulicos máximos, de cada ducto

Alcantarillas	Área (m ²)	Perímetro(m)	Radio hidráulico	Longitud(m)	Pendiente	N	Caudal(m ³ /s)
Ducto 0:	5,94	6,90	0,86	34,50	0,004638	0,014	26,15
Ducto 1:	5,86	6,88	0,85	36,20	0,003702	0,014	22,88
Ducto 2a:	3,57	5,39	0,66	68,38	0,000541	0,014	4,51
Ducto 2b:	3,57	5,39	0,66	68,38	0,000541	0,014	4,51
Ducto 3:	3,02	5,02	0,60	41,00	0,000927	0,014	4,68
Ducto 4:	3,49	5,35	0,65	41,00	0,000854	0,014	5,47
Ducto 5a:	5,95	6,98	0,85	30,00	0,000667	0,014	9,87
Ducto 5b:	5,95	6,98	0,85	30,00	0,000667	0,014	9,87
Ducto 6:	1,91	4,07	0,47	38,50	0,011247	0,014	8,74
TOTAL							96,68

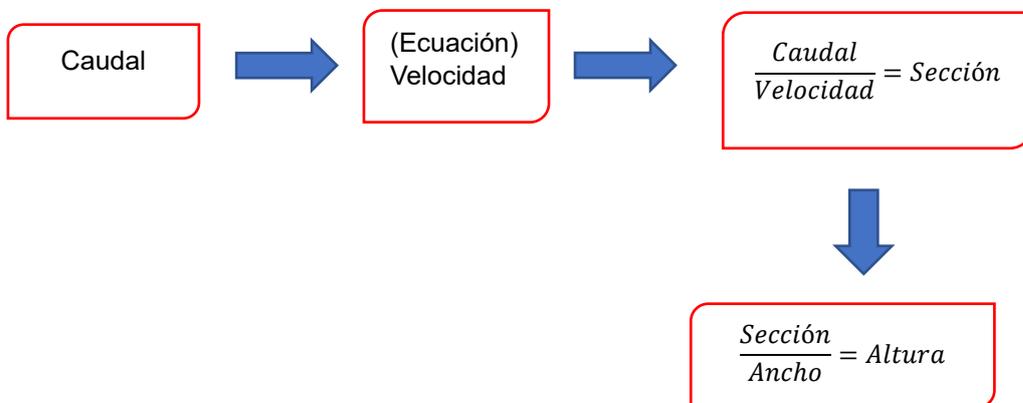
Fuente: Los autores

También se procedió a calcular el caudal de cada ducto, con el software libre H canales, ya que toda estructura hidráulica que no actúa bajo presión, puede ser considerada y calculada como canal, por lo cual, el software es válido para corroborar los resultados obtenidos.

4.2.2. Cálculo de altura de inundación

Una vez obtenido el caudal máximo de diseño para cada periodo de retorno, junto con los datos de sección y caudal de las alcantarillas. Se puede determinar la altura de inundación, para un caudal determinado en la sección, este cálculo aproximado tiene el siguiente esquema:

Ilustración 8 Esquema de cálculo de altura de inundación



Fuente: Los autores

En donde, el caudal se refiere al caudal hidrológico de diseño, la velocidad se la puede obtener usando la ecuación de Manning y la sección depende de la geometría de la alcantarilla (Javier et al., n.d.)

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}$$

Donde:

S= Pendiente (m/m)

R= Radio Hidráulico (m)

n= Coeficiente de Manning

El manual del MOP 2002, establece que las obras hidráulicas deben diseñarse para periodos de retorno mayores a 10 años, y también recomienda que para alcantarillas se tome un periodo de retorno de 25 años. Tomando en cuenta esta recomendación, se

determinará la altura de inundación, con el caudal hidrológico de PR para 25 años (Obras Publicas, 2002).

Se tomará en consideración, periodos de retorno de 5, 10 y 25 años, los resultados de las alturas de inundación aproximadas son las siguientes:

Tabla 7 Tabla de alturas de inundación, para diferentes periodos de retorno

	Altura de inundación (m)		
	5 años	10 años	25 años
Ducto 0	1,83	2,62	3,82
Ducto 1	2,28	3,23	4,67
Ducto 2a	2,77	4,42	6,96
Ducto 2b	2,77	4,42	6,96
Ducto 3	-0,66	-0,28	0,36
Ducto 4	-1,04	-0,71	-0,14
Ducto 5a	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 5b	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 6	-1,93	-1,73	-1,39

Fuente: Los autores

Ilustración 9 Áreas de inundación aproximadas



Fuente: Los autores

Tabla 8 Tabla de intervalos de inundación, para diferentes periodos de retorno

SIMBOLOGIA	Intervalos de inundación (m)		
	5 años	10 años	25 años
	Max 1,83	Max 2,62	Max 3,82
	2,28 a 2,77	3,23 a 4,42	4,67 a 6,96
	0	0	0

Fuente: Los autores

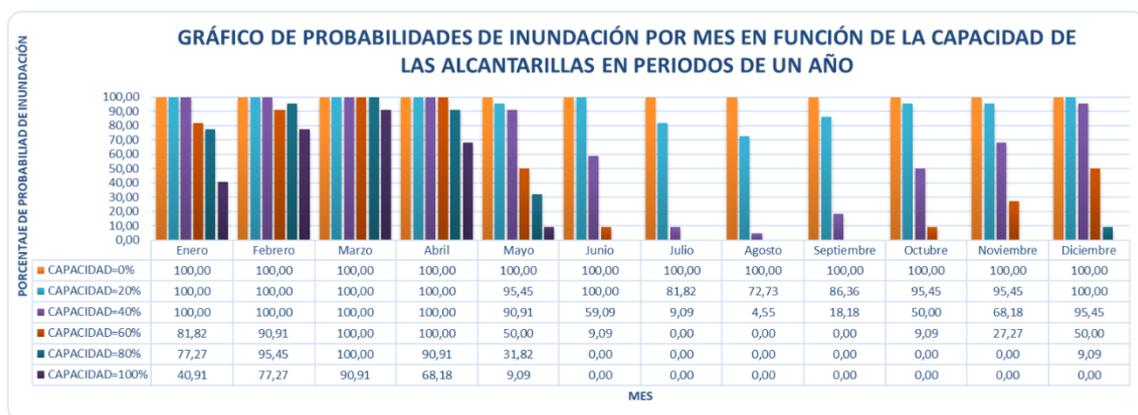
Como se puede observar en la tabla de intervalos de inundación, la zona de color naranja y rojo son las más afectadas, llegando a grandes alturas de inundación máxima. Por otro lado, la zona verde que tiene valores iguales a cero, no tiene peligro de que la vía queda bajo el agua.

4.3. Análisis probabilístico de inundaciones

Una vez obtenidos los cálculos de caudales hidrológicos e hidráulicos, procedemos a hacer uso de estos resultados, determinando la probabilidad de inundación en la zona, mediante el método estadística de la Distribución binomial.

Se presentará la probabilidad de inundación, de la zona según las alcantarillas, cabe recalcar que también se consideró la posibilidad de que se presenten obstrucciones en los ductos, por lo que se variaron sus secciones en intervalos del 20%, por ejemplo, la trabajabilidad de la alcantarilla uno, al 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. En función de ese porcentaje de obstrucción se calculó la probabilidad de inundación para cada caso. Por otro lado, cabe mencionar que los escenarios de probabilidad de inundación presentados se realizaron a partir de datos pluviométricos convertidos en caudales mensuales.

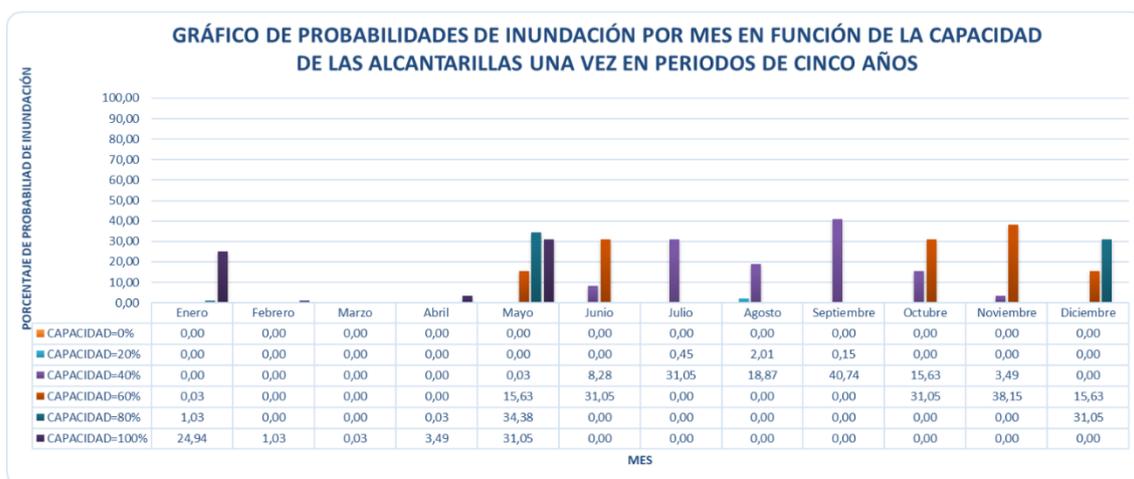
Ilustración 10 Análisis probabilístico de inundación por mes, en periodos de un año



Fuente: Los autores

Como se puede observar en el gráfico de probabilidades, es el evento posible que puede darse cada año, según los resultados, en los meses de enero hasta abril, la probabilidad de inundación es del 100%, cuando las alcantarillas trabajan al 60% de su capacidad hidráulica, En el mes de mayo la probabilidad se reduce al 50% trabajando a la misma capacidad antes mencionada. Desde junio hasta noviembre, cuando las alcantarillas trabajan al 80 %, la probabilidad de inundación es del 0 % y en diciembre sube al 9.09%, lo que significa que en esos meses el drenaje puede evacuar los caudales producidos por las precipitaciones, lo que no ocurre claramente en invierno.

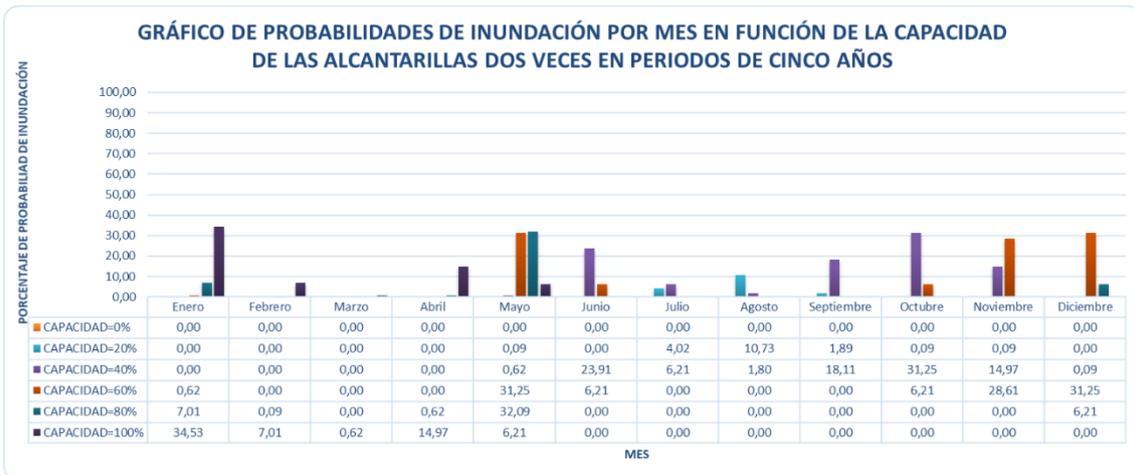
Ilustración 11 Análisis probabilístico de inundación por mes, una vez en periodos de cinco años



Fuente: Los autores

La probabilidad de inundación en los meses de invierno es casi nula a excepción de cuando las alcantarillas trabajan al 80 u 100%. Esto significa que las probabilidades no están sujetas a los caudales hidrológicos o hidráulicos, están directamente relacionados, con el número de inundaciones que pueden darse en un número de eventos, por lo que, es lógico que en una zona donde las precipitaciones son altas, las probabilidades de que se inunde una sola vez en periodos de cinco años sean bajas, porque significa que la zona se inundará más veces, como se mostrará en los próximos gráficos.

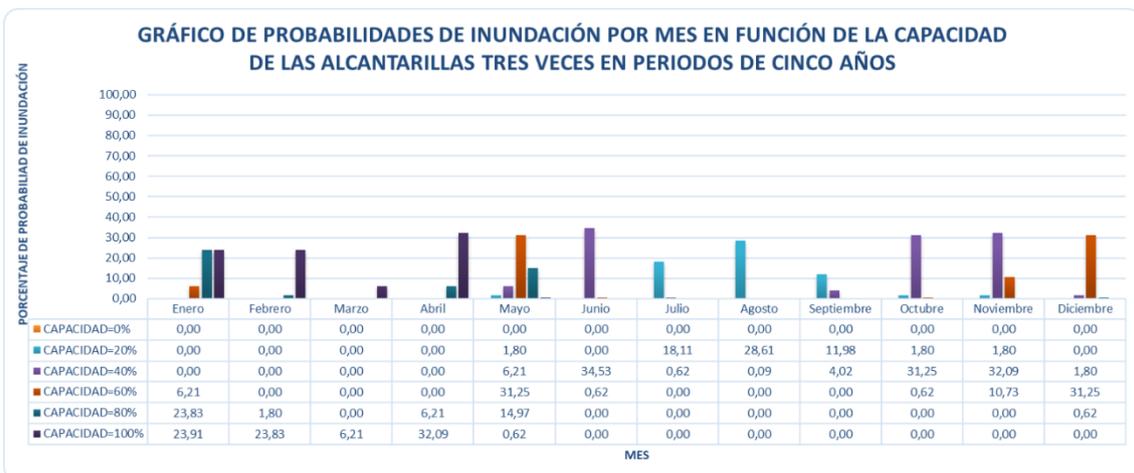
Ilustración 12 Análisis probabilístico de inundación por mes, dos veces en periodos de cinco años



Fuente: Los autores

Como se puede observar la probabilidad de que un evento de inundación se dé dos veces en periodos de cinco años es baja, la máxima probabilidad ocurre en el mes de enero con el 34.53%, cuando la alcantarilla trabaja al 100% de su capacidad, el resto de los meses están por debajo de la probabilidad antes mencionada.

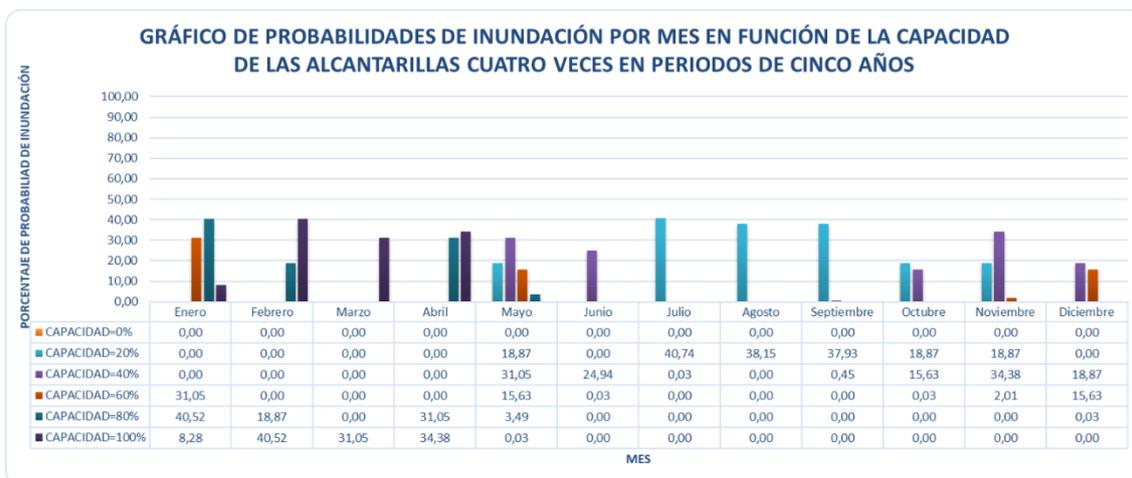
Ilustración 13 Análisis probabilístico de inundación por mes, tres veces en periodos de cinco años



Fuente: Los autores

Las probabilidades de inundación tres veces en periodos de cinco años, es alta en los meses de abril a junio cuando las alcantarillas trabajan al 40 y 100% de su capacidad, fluctuando las probabilidades desde 6.21 a 32.09%, y en los meses de octubre a diciembre, la probabilidad más alta es de 31.25%.

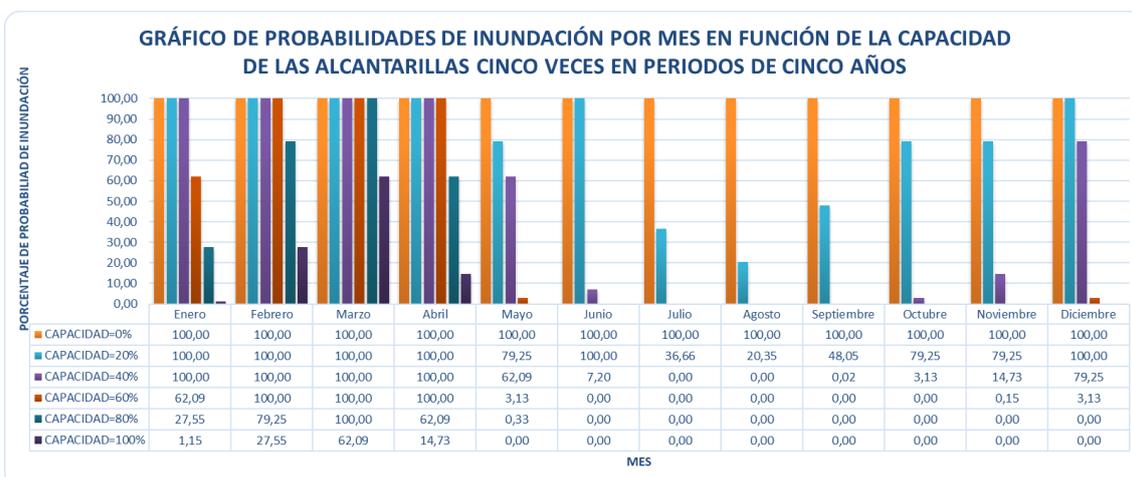
Ilustración 14 Análisis probabilístico de inundación por mes, cuatro veces en periodos de cinco años



Fuente: Los autores

En este escenario se observa que las probabilidades aumentan en comparación con los gráficos anteriores, lo que significa que los eventos de inundación son mayores a una vez en cinco años, aun así, en el presente gráfico donde se considera que ocurre inundaciones cuatro veces en cinco años, las probabilidades no pasan el 50%. Por otro lado, se observa que la probabilidad máxima es en julio con un 40,74 % cuando las alcantarillas trabajan al 20 %.

Ilustración 15 Análisis probabilístico de inundación por mes, cinco veces en periodos de cinco años

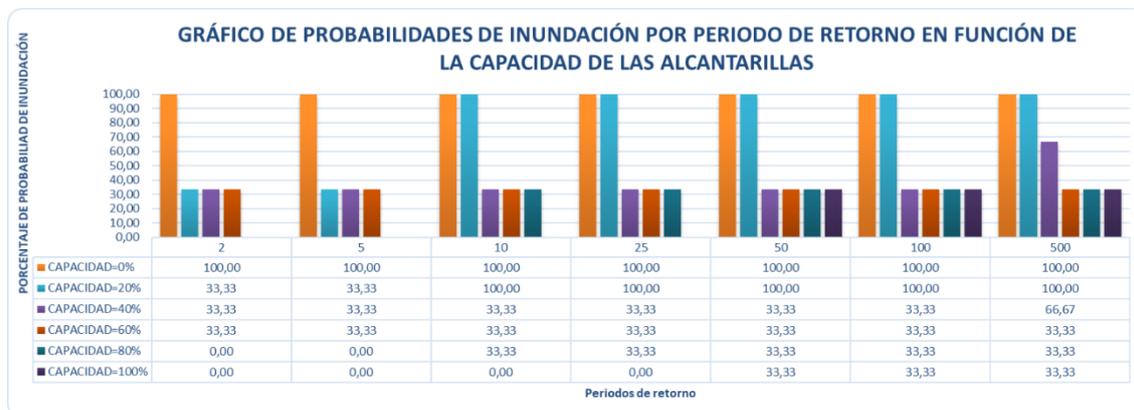


Fuente: Los autores

Las probabilidades de inundación cinco veces en periodos de cinco años son altas y llegan al 100% para todos los meses si las alcantarillas trabajan al 0%. En los meses de invierno de enero hasta abril, las probabilidades de inundación son del 100% cuando las alcantarillas trabajan al 20% de su capacidad hidráulica. En los meses de mayo a diciembre la probabilidad de inundación es del 0% cuando el drenaje trabaja al 100% de

su capacidad hidráulica. Según la figura 8 y, según los gráficos anteriores, se constata que la probabilidad de no inundación es muy baja, la tendencia apunta a que la zona se inundará de cinco veces en adelante.

Ilustración 16 Análisis probabilístico de inundación por periodo de retorno



Fuente: Los autores

Según el presente gráfico, las alcantarillas podrían evacuar los caudales de manera eficiente hasta los 25 años, trabajando al 100% de su capacidad hidráulica. Después de los 25 años, existe probabilidad de inundación, aun si el drenaje trabaja al 100% de su capacidad, existe el riesgo. Por lo que, en términos generales, el drenaje no debería trabajar a manos del 80% de su capacidad, para los periodos de retorno de dos años, cinco años. Para periodos de 10 y 25 años el drenaje no puede bajar del 100% de su capacidad hidráulica.

CONCLUSIONES

Se ha propuesto una metodología para la evaluación de sistemas de drenaje vial, mediante métodos de análisis hidrológico e hidráulicos, y se ha determinado la probabilidad de inundación en la vía de primer orden, E25 Troncal de la Costa, ubicada en el cantón Santa Rosa. También se identificaron los métodos de análisis hidrológicos e hidráulicos, mediante una investigación bibliográfica, y se interpretaron los resultados obtenidos, con un método estadístico como la distribución binomial, para determinar probabilidades de inundación.

En base a los resultados, se ha podido observar que los caudales máximos hidrológicos para periodos de retorno de 10 años en adelante, son mayores a los caudales que las alcantarillas pueden soportar, en consecuencia, el drenaje no será capaz de evacuar la escorrentía superficial, y como resultado hay una alta probabilidad de que se den inundaciones.

En cuanto a, nivel de ocurrencia de que se produzca un solo evento de inundación en periodos de cinco años la probabilidad es baja, ya que, según los resultados en la zona de estudio el número de eventos de inundación será de cinco veces en adelante en periodos de cinco años por lo tanto en los meses de invierno, el drenaje no debe funcionar a menos del 80% de su capacidad hidráulica.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo, se recomienda implementar periodos de mantenimiento a las alcantarillas, para evitar obstrucción, ya que como se analizó en las probabilidades de inundación, existen casos en los que es necesario que el drenaje trabaje al 100% de su capacidad hidráulica.

Por otra parte, en base a un levantamiento geográfico realizado en la zona, se pudo observar que en la cota baja de las alcantarillas una vez que se transporta la escorrentía superficial, esta no tiene por donde evacuar, provocando problemas de estancamiento de agua y la consecuencia principal a esto es el colapso del drenaje, en suma, resulta en la inundación de la zona. Por lo que se recomienda, abrir canales de drenaje para aliviar los caudales transportados por las alcantarillas.

Otro detalle importante a considerar en la zona de estudio, es la influencia que tiene el Río Pital en épocas de invierno, el cual en el peor de los casos se desborda sumándose a la escorrentía superficial por precipitaciones.

Como recomendación final, pero no menos importante, es establecer alternativas de prevención para las épocas de invierno, de esta manera los habitantes naturales y comerciales de la zona, tengan directrices a seguir cuando se presenten los casos de inundación, y así poder evitar los estragos causados por los desastres naturales relacionados con el agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aashna, M. (2021). *A SHORT REVIEW ON BINOMIAL DISTRIBUTION*.
<https://doi.org/https://www.doi.org/10.51201/JUSST/21/07231>
- Almheiri, K. B., Rustum, R., Wright, G., & Adeloye, A. J. (2023). A Review of Hydrological Studies in the United Arab Emirates. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15101850>
- Amry, Z., & Nadia Amalia, S. (2022). Minimax Estimator on Binomial Distribution. *SCIREA Journal of Mathematics*. <https://doi.org/10.54647/mathematics11340>
- Arellano-Choca, R., Carrillo-García, M., Ruiz-García, A., Navarro-Gómez, H. I., & Vázquez-Peña, M. A. (2020). Characteristic curve at the inlet of a culvert-type hydraulic model. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 55–68.
<https://doi.org/10.5154/r.inaqbi.2018.10.020>
- Arreguín Felipe, P. L. M. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencia Del Agua*, VII, 5–13.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00005.pdf>
- Castillo García, C. L., Abreu Franco, D. E., & Alvarez González, M. (2021). Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara. *Enfoque UTE*, 12(3), 51–64. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.729>
- Conesa García, C., & Lorenzo, R. G. (2011). *Factores e índices de peligrosidad de las aguas de avenida en cruces de carreteras con ramblas*.
- Diaconu, D. C., Costache, R., & Popa, M. C. (2021). An overview of flood risk analysis methods. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040474>
- Díaz-Salas, A., Guevara-Pérez, E., & Rosales-Cueva, J. (2020). Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa, sector Recuay – Carhuaz, Áncash, Perú. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 328–342. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v27i3.292>
- Ernesto Hernández-Uribe, R., Barrios-Piña, H., Ramírez, A. I., & para correspondencia Resumen Hernández-Uribe, A. (2017). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., Gesch, D., Reuter, H. I., Herrera-Cruz, V., Riazanoff, S., López-Vázquez, C., Carabajal, C. C., Albinet, C., & Strobl, P. (2021). Digital elevation models: Terminology and definitions. *Remote Sensing*, 13(18).
<https://doi.org/10.3390/rs13183581>
- Hankin Barry, Craigen Iain, Rogers Will, Morphet Joanne, Bailey Andy, & Whitehead Michael. (2016). *Flood Risk to the Strategic Road Network in England*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160710001>

- Ing Wilmer Guachamín Ing Fernando García Ing Miguel Arteaga Blgo Jorge Cadena, E. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA EQUIPO TÉCNICO 2015 DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN Contenido.*
- Javier, F., San, S., & Geología, R.----D. (n.d.). *Cálculo aproximado de la altura de inundación.* <http://hidrologia.usal.esPág.1>
- Maksimovskaya, T. M. (2023). Hydrological studies of Zelenetskaya Bay in the summer of 2021. *Transactions of the Kola Science Centre. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2(3/2023), 45–50. <https://doi.org/10.37614/2949-1185.2023.2.3.006>
- Martínez, C., Sanchez, A., Toloh, B., & Vojinovic, Z. (2018). Multi-objective Evaluation of Urban Drainage Networks Using a 1D/2D Flood Inundation Model. *Water Resources Management*, 32(13), 4329–4343. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2054-x>
- Matamoros, D., Arias-Hidalgo, M., del Pilar Cornejo-Rodriguez, M., & Borbor-Cordova, M. J. (2020). Hydrodynamic analysis of a stormwater system, under data scarcity, for decision-making process: The duran case study (Ecuador). *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su122410541>
- Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Aguilar-Aguilar, M., Cruz-Cabrera, O., Hidalgo-Calva, K., & Morante-Carballo, F. (2023). Stormwater Sewerage Masterplan for Flood Control Applied to a University Campus. *Smart Cities*, 6(3), 1279–1302. <https://doi.org/10.3390/smartcities6030062>
- Obras Publicas, M. DE. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES.*
- PDOT SANTA ROSA 2019-2023. (n.d.).
- Pereira, R. F. S., de Figueiredo, N. M., & Filho, L. C. C. (2023). Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil. *Acta Scientiarum - Technology*, 45. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.63176>
- Ramón, M., Blanquer, G., & MI, J. (n.d.). *Morfología de las cuencas hidrográficas.*
- Ramos, H. M., & Besharat, M. (2021). Urban flood risk and economic viability analyses of a smart sustainable drainage system. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/su132413889>
- Relat, J. M. (2010). *RAPD 221 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN BÁSICA Investigación Concepto* (Vol. 33).
- Ren, X., Wang, S., Yang, P., Tao, Y., & Chen, H. (2021). Performance evaluation of different combined drainage forms on flooding and waterlogging removal. *Water (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/w13212968>
- Roblero-Hidalgo, R., Chávez-Morales, J., Ibáñez-Castillo, L. A., & Palacios-Vélez, O. L. (2022). Danger from flooding during Hurricane Stan in the Vicente Guerrero river

- basin, Siltepec, Chiapas, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 13(2).
<https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2022-02-02>
- Rujner, H., Leonhardt, G., Flanagan, K., Marsalek, J., & Viklander, M. (2022). Green infrastructure drainage of a commercial plaza without directly connected impervious areas: a case study. *Water Science and Technology*, 86(11), 2777–2793. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.381>
- Sirbiladze, G., Kacprzyk, J., Manjafarashvili, T., Midodashvili, B., & Matsaberidze, B. (2022). New Fuzzy Extensions on Binomial Distribution. *Axioms*, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/axioms11050220>
- Stefania Vallecilla-Ponce, A. I., José Méndez-Mata III, W., & Alfredo Delgado-Gutiérrez, D. I. (2022). Retrospectiva de escenarios de inundaciones en la región costera de Ecuador: Una visión de sus impactos a escala local urbana. *Mayo Especial*, 8(2), 318–339. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2757>
- Svetlana, D., Radovan, D., & Ján, D. (2015). The Economic Impact of Floods and their Importance in Different Regions of the World with Emphasis on Europe. *Procedia Economics and Finance*, 34, 649–655. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)01681-0](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)01681-0)
- Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos*. (n.d.).
- Van Ginkel Kees C.H., Dottori Francesco, Alfieri Lorenzo, Feyen Luc, & Koks Elco E. (2021). Flood risk assessment of the European road network. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(3), 1011–1027. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1011-2021>
- Vega, R., & Danilo, C. (2019). *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL MACHALA 2019*.
- Ven te Chow. (1994). *Hidraulica de canales abiertos- Ven te Chow*.

ANEXOS

Datos de precipitación

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1998	272,617	338,239	336,269	252,177	132,137	41,678	22,322	13,521	16,299	40,877	24,816	11,391	338,24
1999	72,821	239,063	219,688	97,375	80,307	32,386	12,412	12,788	30,450	11,549	18,748	95,181	239,06
2000	55,481	191,838	207,083	137,218	72,891	30,106	6,252	9,605	29,638	3,547	5,494	42,597	207,08
2001	130,463	132,391	278,821	77,879	35,080	15,369	7,817	8,402	10,793	8,807	51,464	34,450	278,82
2002	25,946	166,600	299,328	151,951	35,061	12,266	10,770	4,922	4,726	30,220	42,407	60,204	299,33
2003	34,558	70,866	134,784	72,380	19,234	18,194	10,478	4,902	16,703	16,366	42,546	53,643	134,78
2004	55,693	85,709	88,929	103,460	26,982	12,975	10,628	8,460	27,447	25,479	33,026	39,458	103,46
2005	42,997	104,426	225,487	85,714	23,422	16,258	2,298	3,044	12,046	21,593	12,517	72,761	225,49
2006	83,044	207,188	204,366	97,739	5,476	24,251	11,405	10,884	9,380	12,426	47,985	63,196	207,19
2007	105,129	61,518	181,834	131,104	30,410	36,616	3,731	36,951	16,037	20,980	43,215	28,715	181,83
2008	105,219	311,270	322,349	238,514	33,177	26,971	10,941	18,940	10,811	42,257	38,052	40,554	322,35
2009	184,676	137,967	147,673	69,290	54,383	21,478	17,356	11,958	11,083	14,327	13,979	46,137	184,68
2010	90,810	249,463	148,338	97,723	48,126	62,902	17,392	7,261	17,091	10,362	27,853	32,896	249,46
2011	79,476	164,534	107,885	180,680	25,902	13,861	26,506	8,778	19,002	22,364	40,130	56,877	180,68
2012	182,135	274,037	172,711	167,739	51,427	26,431	1,226	5,192	9,833	27,328	41,167	36,934	274,04
2013	99,006	122,461	143,015	44,586	63,559	19,340	12,739	12,241	9,891	55,057	8,802	29,720	143,01
2014	71,619	74,303	178,410	64,185	157,394	28,795	8,610	10,331	8,375	38,501	26,573	36,280	178,41
2015	96,765	86,889	311,576	180,361	82,184	33,662	16,898	6,082	7,296	22,240	27,730	23,022	311,58
2016	91,377	155,786	216,788	117,434	27,211	24,501	9,838	6,116	29,136	11,688	15,844	50,958	216,79
2017	154,269	163,775	358,571	191,560	71,942	23,208	14,299	11,967	5,194	8,869	15,726	52,522	358,57
2018	74,083	128,721	96,379	77,523	86,414	11,042	7,265	8,011	7,680	11,035	58,333	34,263	128,72
2019	107,993	144,830	155,231	123,936	30,002	17,490	13,545	11,468	5,402	22,030	33,615	52,409	155,23
MAX	272,62	338,24	358,57	252,18	157,39	62,90	26,51	36,95	30,45	55,06	58,33	95,18	358,57

Ecuación de intensidad de lluvia

$$I = \frac{0,166410 \cdot 896,6533 \cdot T}{0,61885 \cdot t}$$

Tabla de intensidades máximas

Tabla de intensidades - Tiempo de duración																
Frecuencia	Duración en minutos															
	años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	125	130
2	371,67	242,03	188,32	157,61	137,28	122,63	111,47	102,63	95,42	89,40	84,27	79,86	75,00	70,70	66,64	62,84
5	432,90	281,90	219,34	183,57	159,89	142,83	129,84	119,54	111,14	104,12	98,16	93,01	88,57	84,84	81,79	79,34
10	485,82	316,36	246,16	206,01	179,44	160,30	145,71	134,15	124,72	116,85	110,16	104,38	99,17	94,56	90,54	87,24
25	565,85	368,47	286,70	239,95	209,00	186,70	169,71	156,25	145,27	136,10	128,30	121,58	115,84	110,97	106,84	103,44
50	635,03	413,53	321,76	269,28	234,55	209,53	190,46	175,35	163,03	152,74	143,99	136,44	129,97	124,54	119,97	116,14
100	712,67	464,08	361,10	302,21	263,23	235,14	213,75	196,79	182,96	171,41	161,59	153,12	145,84	139,57	134,22	129,74
500	931,55	606,61	472,00	395,02	344,07	307,36	279,39	257,23	239,15	224,06	211,22	200,15	190,00	180,74	172,34	164,74

Curvas IDF de la cuenca

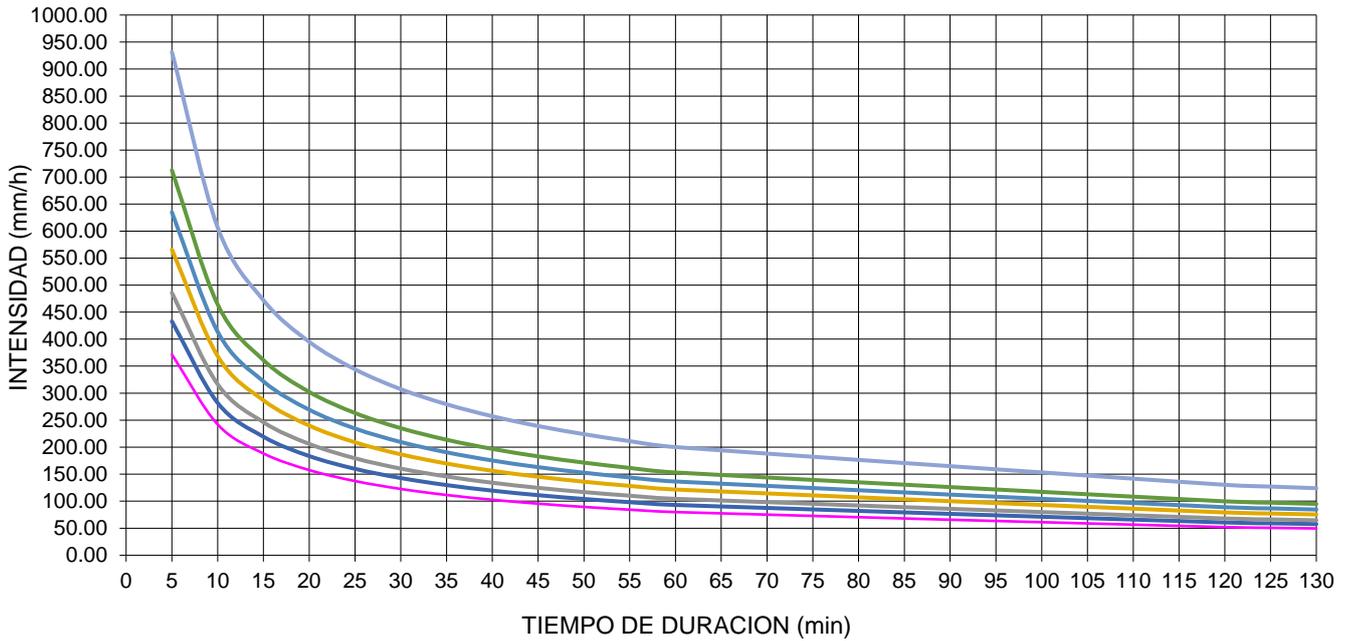


Tabla de Ven Te Chow para coeficiente de escorrentía

FÓRMULA RACIONAL

Según Chow
et al. (1988)

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Cemento, tejados	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Pendiente media (2-7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente alta (> 7%)	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente media (2-7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Pendiente media (2-7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente alta (> 7%)	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Zonas rurales							
Campos de cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Pendiente media (2-7%)	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente alta (> 7%)	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente media (2-7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente alta (> 7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques, montes arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Pendiente media (2-7%)	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente alta (> 7%)	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de esta tabla son los utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA) para determinar caudales punta por el método racional en su término municipal.

Cálculo de coeficiente de escorrentía

AREA TOTAL DE MICROCUENCAS		
	KM2	HECTAREAS
1	5,95	595
2	0,36	36
3	0,54	54

AREA DE CULTIVOS		
	KM2	HECTAREAS
1		0
2	0,244	24,4
3	0,29	29,096

AREA DE VEGETACIÓN LIGERA		
	KM2	HECTAREAS
1	2,02	202
2	0,07	7
3	0,25	24,904

AREA DE ZONA URBANA		
	KM2	HECTAREAS
1	3,93	393
2	0,04464	4,464

Microcuenca 1

Microcuenca 1 (2 años)			
DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,73	2,87
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,32	0,65
TOTAL	5,95		3,52
Coeficiente de escorrentía ponderado			0,59

Microcuenca 1 (5 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,77	3,03
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,34	0,69
TOTAL	5,95		3,71
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,62	

Microcuenca 1 (10 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,81	3,18
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,37	0,75
TOTAL	5,95		3,93
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,66	

Microcuenca 1 (25 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,86	3,38
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,4	0,81
TOTAL	5,95		4,19
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,70	

Microcuenca 1 (50 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,9	3,54
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,44	0,89
TOTAL	5,95		4,43
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,74	

Microcuenca 1 (100 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	0,95	3,73
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,47	0,95
TOTAL	5,95		4,68
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,79	

Microcuenca 1 (500 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Zona urbana-calles asfaltadas	3,93	1	3,93
Vegetación ligera- semipermeable	2,02	0,58	1,17
TOTAL	5,95		5,10
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,86	

Microcuenca 2

Microcuenca 2 (2 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,31	0,08
Vegetación densa- semipermeable	0,07	0,32	0,02
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,73	0,03
TOTAL	0,36		0,13
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,36	

Microcuenca 2 (5 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Area de cultivos	0,244	0,34	0,08
Vegetación densa- semipermeable	0,07	0,25	0,02
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,77	0,03
TOTAL	0,36		0,13
Coeficiente de escorrentia ponderado		0,38	

Microcuenca 2 (10 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,36	0,09
Vegetación densa-semipermeable	0,07	0,28	0,02
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,81	0,04
TOTAL	0,36		0,14
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,40	

Microcuenca 2 (25 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,4	0,10
Vegetación densa-semipermeable	0,07	0,31	0,02
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,86	0,04
TOTAL	0,36		0,16
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,44	

Microcuenca 2 (50 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,43	0,10
Vegetación densa-semipermeable	0,07	0,35	0,02
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,9	0,04
TOTAL	0,36		0,17
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,47	

Microcuenca 2 (100 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,47	0,11
Vegetación densa-semipermeable	0,07	0,39	0,03
Zona asfaltada y comercial	0,04464	0,95	0,04
TOTAL	0,36		0,18
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,51	

Microcuenca 2 (500 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,244	0,57	0,14
Vegetación densa-semipermeable	0,07	0,48	0,03
Zona asfaltada y comercial	0,04464	1	0,04
TOTAL	0,36		0,22
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,61	

Microcuenca 3

Microcuenca 3 (2 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,31	0,09
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,32	0,08
TOTAL	0,54		0,17
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,31	

Microcuenca 3 (5 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Area de cultivos	0,29	0,34	0,10
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,25	0,06

TOTAL	0,54		0,16
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,30	

Microcuenca 3 (10 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,36	0,10
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,28	0,07
TOTAL	0,54		0,17
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,32	

Microcuenca 3 (25 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,4	0,12
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,31	0,08
TOTAL	0,54		0,19
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,36	

Microcuenca 3 (50 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,43	0,13
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,35	0,09
TOTAL	0,54		0,21
Coeficiente de escorrentía ponderado		0,39	

Microcuenca 3 (100 años)

DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,47	0,14
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,39	0,10
TOTAL	0,54		0,23

Coefficiente de escorrentía ponderado	0,43
---------------------------------------	------

Microcuencia 3 (500 años)			
DESCRIPCIÓN	AREA PARCIAL (KM2)	Ci	CiXAi
Área de cultivos	0,29	0,57	0,17
Vegetación densa-semipermeable	0,25	0,48	0,12
TOTAL	0,54		0,29
Coefficiente de escorrentía ponderado		0,53	

Coefficiente de escorrentía - Periodos de retorno en años							
Microcuencia	2	5	10	25	50	100	500
1	0,59	0,62	0,66	0,70	0,74	0,79	0,86
2	0,36	0,38	0,40	0,44	0,47	0,51	0,61
3	0,31	0,30	0,32	0,36	0,39	0,43	0,53

Tiempo de concentración

Microcuencias	Tiempo de concentración				Tiempo de concentración (h)	Tiempo de concentración (min)
	Longitud del cauce (m)	Cota max	Cota min	Pendiente m/m		
1	5340	32	13	0,00356	2,100	125,99
2	930	22	13	0,00968	0,372	22,31
3	1200	25	13	0,01000	0,447	26,81
4	5700	27	5	0,00386	2,140	128,40

Cálculo de caudales máximos

$$Q = \frac{C.I.A}{3.6} . K$$

Microcuenca 1

Duración en min	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
125	50,705	59,057	66,277	77,194	86,632	97,224	127,084
Caudal máximo (m3/s)	49,5118	60,9089	72,3656	89,7986	106,5050	126,4700	180,0923

Microcuenca 2

Duración en min	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
25	137,279	159,892	179,441	208,998	234,551	263,228	344,071
Caudal máximo (m3/s)	5,0001	6,0112	7,1848	9,1894	11,0916	13,5334	20,8492

Microcuenca 3

Duración en min	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	122,632	142,832	160,295	186,699	209,525	235,142	307,360
Caudal máximo (m3/s)	5,7872	6,3952	7,7688	10,0395	12,3548	15,2762	24,3656

Resultados

MICROCUCENCA	AREA (KM2)	TC (MIN)	CAUDALES MÁXIMOS (m3/s)						
			PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
			2	5	10	25	50	100	500
1	5,95	125,99	49,51	60,91	72,37	89,80	106,51	126,47	180,09
2	0,36	22,31	5,00	6,01	7,18	9,19	11,09	13,53	20,85
3	0,54	26,81	5,79	6,40	7,77	10,04	12,35	15,28	24,37
		TOTAL	60,30	73,32	87,32	109,03	129,95	155,28	225,31

HOJA DE NIVELACION

HOJA No.-

SITIO: Via troncal de la costa Machala - Sta Rosa
 CALLE PRINCIPAL: _____ PROYECTO: _____
 CALLE SECUNDARIA: _____ CIRCUITO: _____
 REFERENCIA: _____ FECHA: dic-23
 JEFE DE SECCION: _____

BM	ABSCISA	LECTURAS			H+I	COTA	REFERENCIA	OBSERVACIONES
		ATRÁS	INTERM	ADELANTE				
PLACA		1,724			7,430	5,706	PLACA DEL IGM	
1		1,347		0,512	8,265	6,918	CLAVO - ASFALTO	
2			0,512			7,753	MURO + ALTO DEL PUEBTE	
3			1,120			7,145	ACERA DEL PUEBTE	
4			1,290			6,975	CALZADA ASFALTO	
5		1,152		1,174	8,243	7,091	CLAVO-ASFALTO	
6		0,762		2,030	6,975	6,213	CLAVO-ASFALTO	
7		1,048		2,212	5,811	4,763	CLAVO-ASFALTO	
8		1,280		1,452	5,639	4,359	CLAVO-ASFALTO	
9			2,122			3,517	MURO DE ALA	DUCTO_0 A
10			1,962			3,677	MURO DE ALA	DUCTO_0 B
11		1,044		1,562	5,121	4,077	CLAVO - ASFALTO	
12			1,768			3,353	MURO DE ALA	DUCTO 1A
13			1,902			3,219	MURO DE ALA	DUCTO 1B
14			2,578			2,543	MURO DE ALA	DUCTO 2A
15			2,557			2,564	MURO DE ALA	DUCTO 2B
16			2,238			2,883	MURO DE ALA	DUCTO 2C
17			2,201			2,920	MURO DE ALA	DUCTO 2D
18		1,488		1,267	5,342	3,854	CLAVO - ASFALTO	
19			2,580			2,762	MURO DE ALA	DUCTO 3A
20			2,681			2,661	MURO DE ALA	DUCTO 4B
21			2,716			2,626	MURO DE ALA	DUCTO 4A
22			2,542			2,800	MURO DE ALA	DUCTO 3B
23		1,628		1,397	5,573	3,945	CLAVO - ASFALTO	
PLACA			1,530			4,043	PLACA DEL MTOP	
25			2,120			3,453	MURO DE ALA	DUCTO 5A
26			2,140			3,433	MURO DE ALA	DUCTO 5B
27			1,908			3,665	MURO DE ALA	DUCTO 5C
28			1,920			3,653	MURO DE ALA	DUCTO 5D
29		2,072		0,970	6,675	4,603	CLAVO - ASFALTO	
30			3,882			2,793	MURO DE ALA	DUCTO 6A
CAMBIO		1,078		0,937	6,816	5,738		
31			3,446			2,360	MURO DE ALA	DUCTO 6B

Calculo hidráulico

Tabla de coeficiente de rugosidad

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036

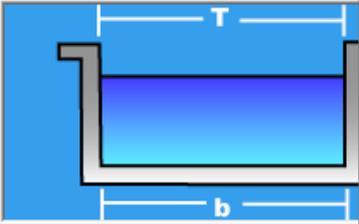
	SECCION			Área (m2)	Perímetro	Radio hidráulico	Longitud	Pendiente	n	Caudal (m3/s)
	Borde	L	Profundidad							
Ducto 0:	0,25	3,3	1,80	5,94	6,90	0,86	34,50	0,004638	0,0140	26,15
Ducto 1:	0,62	3,1	1,89	5,86	6,88	0,85	36,20	0,003702	0,0140	22,88
Ducto 2a:	0,25	3,025	1,18	3,57	5,39	0,66	68,38	0,000541	0,0140	4,51
Ducto 2b:	0,25	3,025	1,18	3,57	5,39	0,66	68,38	0,000541	0,0140	4,51
Ducto 3:	0,53	2	1,51	3,02	5,02	0,60	41,00	0,000927	0,0140	4,68
Ducto 4:	0,55	2,25	1,55	3,49	5,35	0,65	41,00	0,000854	0,0140	5,47
Ducto 5a:	0,6	2,975	2,00	5,95	6,98	0,85	30,00	0,000667	0,0140	9,87
Ducto 5b:	0,6	2,975	2,00	5,95	6,98	0,85	30,00	0,000667	0,0140	9,87
Ducto 6:	0,5	1,47	1,30	1,91	4,07	0,47	38,50	0,011247	0,0140	8,74
									TOTAL	96,68

Cálculo hidráulico con H canales

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:
 Tirante (y): m
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Coeficiente de rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



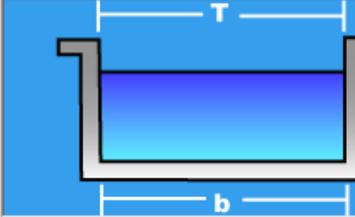
Resultados:
 Caudal (Q): m3/s Velocidad (v): m/s
 Área hidráulica (A): m2 Perímetro (p): m
 Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
 Número de Froude (F):
 Tipo de flujo: Energía específica (E): m-Kg

Calculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Coeficiente de rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

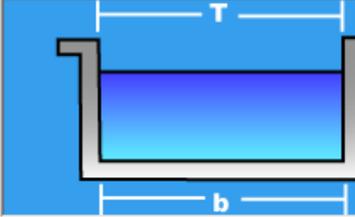
Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
 Area hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
 Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
 Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg
 Tipo de flujo:

Calculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Coeficiente de rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

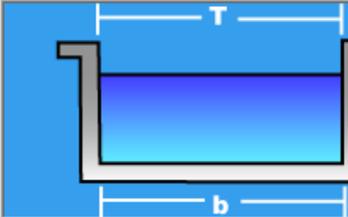
Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
 Area hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
 Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
 Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg
 Tipo de flujo:

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

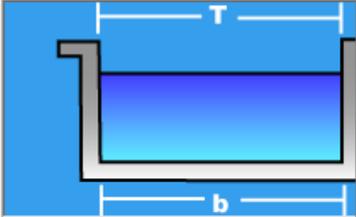
Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
Area hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg
Tipo de flujo:

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

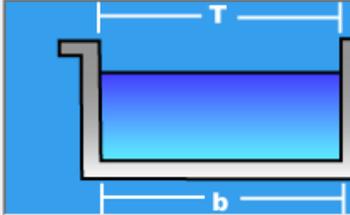
Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
Area hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg
Tipo de flujo:

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

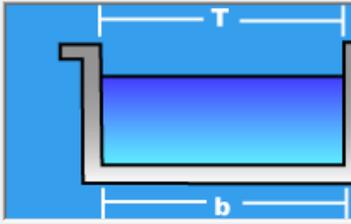
Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
Area hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg
Tipo de flujo:

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
Área hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F): Energía específica (E): m·Kg
Tipo de flujo:

Caudal de alcantarillas, con porcentaje de obstrucción

	AREA DE ALCANTARILLAS								
Porcentaje	Ducto 0:	Ducto 1:	Ducto 2a:	Ducto 2b:	Ducto 3:	Ducto 4:	Ducto 5a:	Ducto 5b:	Ducto 6:
100%	5,94	5,86	3,57	3,57	3,02	3,49	5,95	5,95	1,911
80%	4,75	4,69	2,86	2,86	2,42	2,79	4,76	4,76	1,53
60%	3,56	3,52	2,14	2,14	1,81	2,09	3,57	3,57	1,15
40%	2,38	2,34	1,43	1,43	1,21	1,40	2,38	2,38	0,76
20%	1,19	1,17	0,71	0,71	0,60	0,70	1,19	1,19	0,38

	RADIO HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS								
Porcentaje	Ducto 0:	Ducto 1:	Ducto 2a:	Ducto 2b:	Ducto 3:	Ducto 4:	Ducto 5a:	Ducto 5b:	Ducto 6:
100%	0,86	0,85	0,66	0,66	0,60	0,65	0,85	0,85	0,47
80%	0,69	0,68	0,53	0,53	0,48	0,52	0,68	0,68	0,38
60%	0,52	0,51	0,40	0,40	0,36	0,39	0,51	0,51	0,28
40%	0,34	0,34	0,27	0,27	0,24	0,26	0,34	0,34	0,19
20%	0,17	0,17	0,13	0,13	0,12	0,13	0,17	0,17	0,09

CAUDAL HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS									
Porcentaje	Ducto 0:	Ducto 1:	Ducto 2a:	Ducto 2b:	Ducto 3:	Ducto 4:	Ducto 5a:	Ducto 5b:	Ducto 6:
100%	26,15	22,88	4,51	4,51	4,68	5,47	9,87	9,87	8,74
80%	18,03	15,77	3,11	3,11	3,23	3,77	6,80	6,80	6,03
60%	11,16	9,76	1,92	1,92	2,00	2,34	4,21	4,21	3,73
40%	5,68	4,97	0,98	0,98	1,02	1,19	2,14	2,14	1,90
20%	1,79	1,56	0,31	0,31	0,32	0,37	0,68	0,68	0,60

Cálculo de altura de inundación

	SECCIÓN		CAUDAL (PERIODO DE RETORNO) m ³ /s			Radio hidráulico	Pendiente	N	Altura total (m)			Cota base de alcantarilla	Cota del asfalto	Diferencia de cotas	Altura de inundación (m)		
	Ancho	Profundidad	5 años	10 años	25 años				5 años	10 años	25 años				5 años	10 años	25 años
Ducto 0	3,30	1,80	60,91	72,37	89,80	0,861	0,004638	0,014	4,19	4,98	6,18	3,517	4,077	0,56	1,83	2,62	3,82
Ducto 1	3,10	1,89	60,91	72,37	89,80	0,852	0,003702	0,014	5,03	5,98	7,42	3,219	4,077	0,858	2,28	3,23	4,67
Ducto 2a	3,03	1,18	66,92	79,55	98,99	0,663	0,000541	0,014	8,76	10,41	12,95	2,543	3,854	1,311	2,77	4,42	6,96
Ducto 2b	3,03	1,18	66,92	79,55	98,99	0,663	0,000541	0,014	8,76	10,41	12,95	2,543	3,854	1,311	2,77	4,42	6,96
Ducto 3	2,00	1,51	6,01	7,18	9,19	0,602	0,000927	0,014	1,94	2,32	2,97	2,762	3,854	1,092	-0,66	-0,28	0,36
Ducto 4	2,25	1,55	6,01	7,18	9,19	0,652	0,000854	0,014	1,70	2,03	2,60	2,661	3,854	1,193	-1,04	-0,71	-0,14
Ducto 5a	2,98	2,00	6,01	7,18	9,19	0,853	0,000667	0,014	0,61	0,73	0,93	3,453	3,945	0,492	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 5b	2,98	2,00	6,01	7,18	9,19	0,853	0,000667	0,014	0,61	0,73	0,93	3,453	3,945	0,492	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 6	1,47	1,30	6,40	7,77	10,04	0,470	0,011247	0,014	0,95	1,15	1,49	2,36	3,945	1,585	-1,93	-1,73	-1,39

	Altura de inundación (m)		
	5 años	10 años	25 años
Ducto 0	1,83	2,62	3,82
Ducto 1	2,28	3,23	4,67
Ducto 2a	2,77	4,42	6,96
Ducto 2b	2,77	4,42	6,96
Ducto 3	-0,66	-0,28	0,36
Ducto 4	-1,04	-0,71	-0,14
Ducto 5a	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 5b	-1,88	-1,76	-1,56
Ducto 6	-1,93	-1,73	-1,39

Monografía de placa Geodésica



SISTEMA DE REFERENCIA DEL PROYECTO

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500000,0000
False Northing: 10000000,0000
Central Meridian: -81,0000
Scale Factor: 0,9996
Latitude Of Origin: 0,0000
Units: Meter

COORDENADAS GEOGRAFICAS

Latitud	3° 25'42,01" S
Longitud	79° 57'34,34" W
Altura Elipsoidal	15,316 m
COORDENADAS PLANAS	
Este	615577,8366
Norte	9620998,6481
Altura Geometrica	4,043 m

Cálculo estadístico

Caudales mensuales

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)													
DATOS MENSUALES DE CAUDALES													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1998	271,55	336,92	334,96	251,19	131,62	41,52	22,23	13,47	16,24	40,72	24,72	11,35	336,92
1999	72,54	238,13	218,83	96,99	79,99	32,26	12,36	12,74	30,33	11,50	18,67	94,81	238,13
2000	55,26	191,09	206,27	136,68	72,61	29,99	6,23	9,57	29,52	3,53	5,47	42,43	206,27
2001	129,95	131,87	277,73	77,58	34,94	15,31	7,79	8,37	10,75	8,77	51,26	34,32	277,73
2002	25,84	165,95	298,16	151,36	34,92	12,22	10,73	4,90	4,71	30,10	42,24	59,97	298,16
2003	34,42	70,59	134,26	72,10	19,16	18,12	10,44	4,88	16,64	16,30	42,38	53,43	134,26
2004	55,48	85,37	88,58	103,06	26,88	12,92	10,59	8,43	27,34	25,38	32,90	39,30	103,06
2005	42,83	104,02	224,61	85,38	23,33	16,19	2,29	3,03	12,00	21,51	12,47	72,48	224,61
2006	82,72	206,38	203,57	97,36	5,45	24,16	11,36	10,84	9,34	12,38	47,80	62,95	206,38
2007	104,72	61,28	181,12	130,59	30,29	36,47	3,72	36,81	15,97	20,90	43,05	28,60	181,12
2008	104,81	310,05	321,09	237,58	33,05	26,87	10,90	18,87	10,77	42,09	37,90	40,40	321,09
2009	183,95	137,43	147,10	69,02	54,17	21,39	17,29	11,91	11,04	14,27	13,92	45,96	183,95
2010	90,46	248,49	147,76	97,34	47,94	62,66	17,32	7,23	17,02	10,32	27,74	32,77	248,49
2011	79,17	163,89	107,46	179,97	25,80	13,81	26,40	8,74	18,93	22,28	39,97	56,65	179,97
2012	181,42	272,97	172,04	167,08	51,23	26,33	1,22	5,17	9,79	27,22	41,01	36,79	272,97
2013	98,62	121,98	142,46	44,41	63,31	19,26	12,69	12,19	9,85	54,84	8,77	29,60	142,46
2014	71,34	74,01	177,71	63,93	156,78	28,68	8,58	10,29	8,34	38,35	26,47	36,14	177,71
2015	96,39	86,55	310,36	179,66	81,86	33,53	16,83	6,06	7,27	22,15	27,62	22,93	310,36
2016	91,02	155,18	215,94	116,98	27,10	24,41	9,80	6,09	29,02	11,64	15,78	50,76	215,94
2017	153,67	163,14	357,17	190,81	71,66	23,12	14,24	11,92	5,17	8,83	15,66	52,32	357,17
2018	73,79	128,22	96,00	77,22	86,08	11,00	7,24	7,98	7,65	10,99	58,11	34,13	128,22
2019	107,57	144,26	154,62	123,45	29,89	17,42	13,49	11,42	5,38	21,94	33,48	52,20	154,62
MAX	271,55	336,92	357,17	251,19	156,78	62,66	26,40	36,81	30,33	54,84	58,11	94,81	357,17

TIEMPO(HORA)	1,28
--------------	------

CALCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA (Q) POR EL MÉTODO RACIONAL				
IDENTIFICACIÓN	CALCULO DE INTENSIDAD		COEFICIENTE PROMEDIO	AREA
	PERIODO DE RETORNO T	TIEMPO DE CONCENTRACION tc (min)		AREA DE LA CUENCA (Km2)
CUENCA 1	50	126,72	0,71	5,95
CUENCA 2	50	22,44	0,45	0,36
CUENCA 3	50	26,97	0,38	0,54

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS POR AÑO													
PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,679	40,91	77,27	90,91	68,18	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,652	77,27	95,45	100,00	90,91	31,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,09
60	41,265	81,82	90,91	100,00	100,00	50,00	9,09	0,00	0,00	0,00	9,09	27,27	50,00
40	20,994	100,00	100,00	100,00	100,00	90,91	59,09	9,09	4,55	18,18	50,00	68,18	95,45
20	6,613	100,00	100,00	100,00	100,00	95,45	100,00	81,82	72,73	86,36	95,45	95,45	100,00
0	0,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS UNA VEZ EN CINCO AÑOS													
PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,68	24,94	1,03	0,03	3,49	31,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,65	1,03	0,00	0,00	0,03	34,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,05
60	41,27	0,03	0,00	0,00	0,00	15,63	31,05	0,00	0,00	0,00	31,05	38,15	15,63
40	20,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	8,28	31,05	18,87	40,74	15,63	3,49	0,00
20	6,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	2,01	0,15	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS DOS VECES EN CINCO AÑOS													
PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,68	34,53	7,01	0,62	14,97	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,65	7,01	0,09	0,00	0,62	32,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,21
60	41,27	0,62	0,00	0,00	0,00	31,25	6,21	0,00	0,00	0,00	6,21	28,61	31,25
40	20,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	23,91	6,21	1,80	18,11	31,25	14,97	0,09
20	6,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	4,02	10,73	1,89	0,09	0,09	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS TRES VECES EN CINCO AÑOS													
PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,679	23,91	23,83	6,21	32,09	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,652	23,83	1,80	0,00	6,21	14,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
60	41,265	6,21	0,00	0,00	0,00	31,25	0,62	0,00	0,00	0,00	0,62	10,73	31,25
40	20,994	0,00	0,00	0,00	0,00	6,21	34,53	0,62	0,09	4,02	31,25	32,09	1,80
20	6,613	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	18,11	28,61	11,98	1,80	1,80	0,00
0	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS CUATRO VECES EN CINCO AÑOS

PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,68	8,28	40,52	31,05	34,38	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,65	40,52	18,87	0,00	31,05	3,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
60	41,27	31,05	0,00	0,00	0,00	15,63	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	2,01	15,63
40	20,99	0,00	0,00	0,00	0,00	31,05	24,94	0,03	0,00	0,45	15,63	34,38	18,87
20	6,61	0,00	0,00	0,00	0,00	18,87	0,00	40,74	38,15	37,93	18,87	18,87	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS CINCO VECES EN CINCO AÑOS

PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
100	96,68	1,15	27,55	62,09	14,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	66,65	27,55	79,25	100,00	62,09	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	41,27	62,09	100,00	100,00	100,00	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	3,13
40	20,99	100,00	100,00	100,00	100,00	62,09	7,20	0,00	0,00	0,02	3,13	14,73	79,25
20	6,61	100,00	100,00	100,00	100,00	79,25	100,00	36,66	20,35	48,05	79,25	79,25	100,00
0	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Caudales por periodo de retorno

Microcuencia	2	5	10	25	50	100	500
1	49,51	60,91	72,37	89,80	106,51	126,47	180,09
2	5,00	6,01	7,18	9,19	11,09	13,53	20,85
3	5,79	6,40	7,77	10,04	12,35	15,28	24,37

PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN POR MES EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS POR PERIODO DE RETORNO								
PORCENTAJE ANALIZADO	CAUDAL ANALIZADO	2	5	10	25	50	100	500
100	96,679	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	33,33	33,33
80	66,652	0,00	0,00	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33
60	41,265	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33
40	20,994	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	66,67
20	6,613	33,33	33,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0	0,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00