

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespag.0062>

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE INUNDACIONES EN CARRETERAS OCASIONADAS POR PRECIPITACIONES

PROCEDURE FOR THE PROBABILISTIC ANALYSIS OF FLOODING ON HIGHWAYS CAUSED BY RAINFALL

Castro-Carranza Julio César ¹; Espinoza-Correa Jesús Enrique ²

¹ Maestría académica con trayectoria profesional en Ingeniería Civil, Mención Vialidad. Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: julio_castro600@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3613-441X>.

² Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: jesus.espinoza@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4140-2618>.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo principal establecer un procedimiento para determinar la probabilidad de inundación en carreteras mediante el análisis de la zona de interés con modelos hidrológicos e hidráulicos para la especificación de zonas críticas con drenaje insuficiente; para ello se preparó un marco teórico referente a estudios aplicados a través de consulta de datos bibliográficos para el establecimiento de una comparación de investigaciones afines realizadas en otras latitudes; además, se efectuó un análisis hidrológico a las microcuencas aportantes de caudal en la zona de influencia a la carretera Rocafuerte-Charapotó, Sector Bebedero a través de los softwares ArcGIS (Jack y Laura Dangermond, ESRI) y EXCEL. Luego, se realizó un análisis Hidráulico de las estructuras de drenaje existentes, mediante el cual se cuantificó el caudal; verificando si los drenajes existentes en la vía abastecen la evacuación del caudal en un tiempo adecuado. Finalmente se realizó un estudio estadístico para calcular la probabilidad de inundación que existe en la zona de interés utilizando como datos base los caudales de máxima crecida versus los caudales máximos que pueden administrar las estructuras de drenaje que actualmente existen en la vía. La realización de este estudio permitió obtener un análisis de probabilidad de ocurrencia para un periodo de retorno determinado y mediante avenidas de diseño específicas obtener la probabilidad de inundación de cierta área de estudio y determinación de sus zonas críticas de inundación para poder a través de un correcto análisis hidráulico evacuar las aguas y que la vía no se vea anegada.

Palabras clave: Inundaciones, precipitaciones, análisis probabilístico.

Abstract

The main objective of this article is to establish a procedure to determine the probability of flooding on highways through the analysis of the area of interest with hydrological and hydraulic models for the specification of critical areas with insufficient drainage; For this, a theoretical framework was prepared regarding applied studies through bibliographic data consultation for the establishment of a comparison of related research carried out in other latitudes; In addition, a hydrological analysis was carried out on the micro-basins that contribute flow in the area of influence of the Rocafuerte-Charapotó highway, Bebedero Sector through ArcGIS (Jack and Laura Dangermond, ESRI) and EXCEL software. Then, a Hydraulic analysis of the existing drainage structures was carried out, through which the flow was quantified; verifying if the existing drainages in the road supply the evacuation of the flow in an adequate time. Finally, a statistical study was carried out to calculate the probability of flooding that exists in the area of interest using

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 06 de junio de 2022.

Fecha de aceptación: 10 de agosto de 2022.

Fecha de publicación: 11 de agosto de 2022.



as base data the maximum flood flows versus the maximum flows that the drainage structures that currently exist on the road can manage. The realization of this study allowed to obtain an analysis of probability of occurrence for a certain return period and through specific design avenues to obtain the probability of flooding of a certain study area and determination of its critical flood zones to be able through a correct hydraulic analysis evacuate the water and that the road is not flooded.

Keywords: Floods, precipitations, probabilistic analysis.

1. Introducción

Las inundaciones son un gran problema que afecta a la funcionalidad de las vías, ya que se encuentran entre los llamados riesgos hidrometeorológicos por la fusión entre hidrología y meteorología que en general implican (Gutierrez, 2016). Además, las inundaciones son amenazas que se dan naturalmente, se convierten en desastres cuando hay afectaciones a las vías de comunicación, asentamientos humanos, etc. (Rocha, 2007)

En el Ecuador son pocos los estudios probabilísticos que se han hecho para determinar la probabilidad de inundación en carreteras, por ese motivo es necesario realizar análisis probabilísticos de las mismas y así evitar y prevenir inundaciones en carreteras.

Este estudio va a servir para obtener un análisis de probabilidad de ocurrencia para un periodo de retorno determinado y mediante avenidas de diseño específicas obtener la probabilidad de inundación de cierta área de estudio y determinar sus zonas críticas de inundación para poder a través de un correcto análisis hidráulico evacuar las aguas y que la vía no se vea anegada.

2. Marco teórico

Modelos digitales de elevación (DEM).– La forma más eficaz de representar el desnivel de una superficie en un plano son los modelos digitales de elevación, ya que mediante la diferencia de colores se puede diferenciar el desnivel entre un punto y otro (Paredes, Salinas, Martínez, & Jiménez, 2013).

Análisis Hidrológico de Cuencas.–

Una cuenca hidrológica es un territorio donde las aguas superficiales convergen, mediante una serie de ramificaciones desde un punto ubicado en una cota más alta hasta un punto de descarga ubicado en una cota más baja; son varios los elementos que influyen en el comportamiento del cauce de una cuenca hidrológica como, por ejemplo: el caudal, la intensidad de lluvia, el periodo de retorno, etc. (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

Para realizar el Análisis Hidrológico de una cuenca es necesario obtener el caudal que puede aportar toda el área de la misma.

Método Racional.– Es el método más utilizado para la obtención de caudales hidrológicos de una determinada área; su fácil aplicación permite su uso tanto en zonas urbanizadas como en zonas rurales (Vera, Jaramillo, & Sanga, 2009). Su fórmula es la siguiente:

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

Donde:

Q= Caudal (m³/seg)

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de lluvia (mm/H)

A= Área (Km²)

La fórmula de Sherman que fue mejorada por Bernard para la obtención de las intensidades es:

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

Donde:

I= Intensidad de lluvia (mm/H)

K= Término constante de regresión

T= Período de retorno (años)

tc= Tiempo de concentración (min)

m= Coeficiente de regresión

n= Reconocimiento de ubicaciones geográficas

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. Cabe indicar que el tiempo de concentración no es un fenómeno exacto, ya que depende de las características de la lluvia, además puede haber lugares en los cuales el agua demora más tiempo en llegar al punto de desagüe que el punto más alejado de la cuenca; la fórmula para

la obtención del tiempo de concentración según California Culvert Practice es la siguiente (Vélez & Botero, 2011):

$$tc = 60 \times \left(\frac{0.87075 \times L^3}{H} \right)^{-0.385}$$

Donde:

tc= Tiempo de concentración (min)

L= Longitud de cauce (Km)

H= Desnivel (m)

Periodo de Retorno.– Es el tiempo promedio en el que se repite un evento hidrológico. El periodo de retorno permite diseñar, evaluar y planificar obras hidráulicas, así como también obtener las intensidades de lluvia en un sector determinado. (Vera, Jaramillo, & Sanga, 2009).

Análisis Hidráulico de Alcantarillas.– Una alcantarilla es una estructura que tiene por objeto transportar un determinado caudal de agua desde un punto de entrada hasta un punto de salida con la finalidad de pasar un obstáculo; generalmente son utilizadas en carreteras, ya que es común que al realizar el diseño geométrico de las mismas, estas interfieren con el cauce natural de las aguas, por este

motivo es importante la construcción de alcantarillas en carreteras; mayormente se las construye en sentido transversal aunque también se las puede construir en sentido longitudinal (Carvajal, 2017)

Para realizar el Análisis Hidráulico de una alcantarilla es necesario obtener el caudal Hidráulico que puede soportar:

Método de Manning.– Uno de los métodos más utilizados para el cálculo de caudales Hidráulicos es el método de Gauckler Manning cuya fórmula es la siguiente (López, 2002):

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

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

Donde:

A= Área Hidráulica (m²)

R= Radio Hidráulico (m)

S= Pendiente (m/m)

n= Coeficiente de Manning

P= Perímetro Mojado

Área Hidráulica.– Es el área que ocupa el agua dentro de la sección total de la alcantarilla (Béjar, 2008).

Radio Hidráulico.– Es la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado (Béjar, 2008).

Pendiente.– Es la relación que hay entre la diferencia de niveles de dos puntos y la distancia. (Carvajal, 2017)

Coefficiente de Rugosidad de Manning.– Está en función de la rugosidad relativa de un determinado material, se obtienen resultados muy confiables y por esta razón no se requiere conocer la categoría del flujo que ocurre. (Jiménez, 2015)

Perímetro Mojado.– Es el perímetro de la sección que ocupa el agua en la alcantarilla (Béjar, 2008).

Análisis Probabilístico:

Probabilidad.– Probabilidad es la rama de las matemáticas que estudia la aleatoriedad de fenómenos o experimentos. Un experimento aleatorio es aquel que al repetirse cierta cantidad de veces bajo las mismas condiciones tiene diferentes resultados. (Rincón, 2007)

Distribución binomial.– Describe el número de éxitos al realizar cierta cantidad de experimentos independientes entre sí, en función

de una variable aleatoria. La fórmula es la siguiente:

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

(Alvarado & Batanero, 2007)

Donde:

P: Probabilidad de éxito

x= Número de éxitos en las n réplicas

n= Número de réplicas

3. Metodología

El presente trabajo de investigación consistió en la elaboración del marco teórico a través de fuentes bibliográficas validadas a nivel científico tales como, libros y publicaciones indexadas; datos presentes en la bibliografía, los cuales nos dotaron de cimiento bibliográfico en cuanto a la modelación hidrológica, modelación hidráulica y el análisis probabilístico que son los temas que rigen en la investigación.

Para el análisis hidrológico de las microcuencas aportantes de caudal a la zona de estudio se realizó la colocación de puntos de control georreferenciados con Receptor GNSS (Sistema RTK) con precisión

de $\pm 4\text{mm}$ y un tiempo de repuesta de máximo 5 segundos marca EMLID, modelo REACH RS2 (García, 2008), conjuntamente con una estación total marca SOKKIA, modelo CX 105.

Posteriormente a ello se realizó un levantamiento topográfico de una faja media de 200m a cada lado de la vía en una longitud de 2.46Km, con un equipo de vuelo autónomo (Bustamante, Velásquez, & Ontiveros, 2016) marca DJI, modelo Inspire 1 para la obtención de la ortofoto y el Modelo Digital de Elevación (DEM) (Gómez, y otros, 2017) mediante el software Agisoft Metashape. En total se realizaron cinco vuelos a una altura de 100m.

A través del software ArcGIS versión 10,4 de prueba se importó el modelo digital de elevación ya obtenido en función del levantamiento topográfico previamente mencionado que sumado a modelos digitales de elevación ya establecidos de precisión de $12,5 \times 12,5$ pixeles de tamaño de celda se obtuvo las curvas de nivel, el cauce de los ríos y las áreas de las microcuencas aportantes de caudal a la zona de estudio (Gómez, y otros, 2017). Luego mediante una hoja de

cálculo y en función de las fórmulas mencionadas anteriormente se obtuvieron los caudales máximos que aportan las microcuencas en mención y a los cuales son sometidas las estructuras hidráulicas de la vía para un periodo de retorno de 50 años (Vera, Jaramillo, & Sanga, 2009).

Para el análisis hidráulico de las estructuras de drenaje, se realizó un recorrido a la zona de estudio con el objetivo de evaluar el estado de las alcantarillas existentes.

Se hicieron varios levantamientos topográficos de algunos sectores tales como: alcantarillas y sectores del río Viejo, obteniendo ubicación, datos de altitud de entrada y salida de alcantarillas, niveles del río y, cota máxima de inundación la cual se obtuvo de los vestigios observados en el sitio de las avenidas de agua producidas durante las inundaciones, ocasionadas en mayor grado por el desbordamiento del río Viejo debido a las aguas provenientes de la represa Poza Honda, las cuales, conjuntamente con la falta de mantenimiento ocasionan que las alcantarillas no trabajen a toda su capacidad.

Con los datos obtenidos, se determinó las longitudes y pendientes. Se procedió a evaluar la capacidad Hidráulica del drenaje, cuantificando el caudal; verificando si los drenajes existentes en la vía abastecen la evacuación del caudal en un tiempo adecuado, para ello se utilizaron procedimientos de cálculos establecidos con anterioridad (López, 2002).

Para establecer la probabilidad de inundación se comparó la información de los caudales máximos que hidrológicamente se van a generar versus los caudales que pueden soportar las estructuras de drenaje. Mediante métodos mencionados anteriormente se realizó un estudio estadístico para calcular la probabilidad de inundación que existe en la zona de interés utilizando como datos base los caudales de máxima crecida versus los caudales máximos que pueden administrar las estructuras de drenaje que actualmente existen en la vía, teniendo en cuenta que las alcantarillas no siempre trabajan a su máxima capacidad por diversos motivos (Alvarado & Batanero, 2007).

El procedimiento propuesto para determinar el análisis de probabilidad de inundación de una vía utilizando un caso de estudio que podrá ser extrapolado a otras latitudes consta de los siguientes pasos:

a) Análisis Hidrológico de cuencas.

- Se toma en cuenta los siguientes pasos:

- Levantamiento Topográfico del área de estudio.

- Obtención de las áreas de las cuencas de estudio.

- Determinación de los caudales de las cuencas de estudio.

b) Análisis Hidráulico de obras de drenaje existentes. – Se debe cumplir lo siguiente:

- Revisión de las obras de drenaje existentes para evaluar el estado, el tipo, la capacidad con la que trabajan, ubicación, dimensiones, así como longitudes y diámetros.

- Determinación de los caudales hidráulicos de las obras de drenaje.

c) Comparación de caudales Hidrológicos de cuencas versus

capacidades hidráulicas de obras de drenaje existentes. – Una vez obtenidos los caudales de las cuencas y de las obras de drenaje se realiza una comparación entre ellos y se determina si las obras de drenaje son capaces o no de soportar los caudales que aportan las cuencas de estudio.

- d) Determinación de la probabilidad de inundación de la zona de estudio mediante el modelo de distribución binomial. – Realización de un análisis

estadístico para determinar la probabilidad de inundación del tramo de carretera que se está analizando en diferentes escenarios.

4. Resultados y discusión

Análisis Hidrológico de cuencas:

Para la realización del cálculo de los caudales en la zona de estudio se consideró nueve microcuencas, las cuales dieron como resultado los siguientes caudales:

Tabla 1. Cálculo del caudal de la cuenca (Q) (método racional).

CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA (Q) POR EL MÉTODO RACIONAL			
IDENTIFICACIÓN	PENDIENTE (%)	ÁREA DE LA CUENCA (Km ²)	CAUDAL (m ³ /seg)
CUENCA 1	1.17	0.599	8.03
CUENCA 2	12.45	0.885	14.08
CUENCA 3	13.29	0.335	5.58
CUENCA 4	0.04	0.010	0.04
CUENCA 5	0.72	0.002	0.06
CUENCA 6	3.53	0.079	1.54
CUENCA 7	0.97	0.000	0.02
CUENCA 8	1.49	0.000	0.01
CUENCA 9	0.52	0.003	0.07
TOTAL			29.41

Los caudales Hidrológicos de las microcuencas varían en función del área y la pendiente de cada una de ellas, a mayor área y mayor pendiente el caudal aumenta.

Análisis Hidráulico de alcantarillas: Para la obtención de los caudales hidráulicos que son capaces de soportar las obras de drenaje existentes, se consideró

cuatro alcantarillas que son las que se encuentran en la zona de estudio;

los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 2. Análisis Hidráulico de alcantarillas.

IDENTIFICACIÓN	TIPO	ABSCISA	GRADIENTE (%)	CAUDAL (m3/seg)
ALCANTARILLA 1	DUCTO CAJON	0+303.67	0.42	5.38
ALCANTARILLA 2	DUCTO CAJON	0+560.52	1.25	11.93
ALCANTARILLA 3	DUCTO CAJON	0+825.00	2.38	14.15
ALCANTARILLA 4	DUCTO CAJON	1+039.10	0.76	8.01
TOTAL				39.47

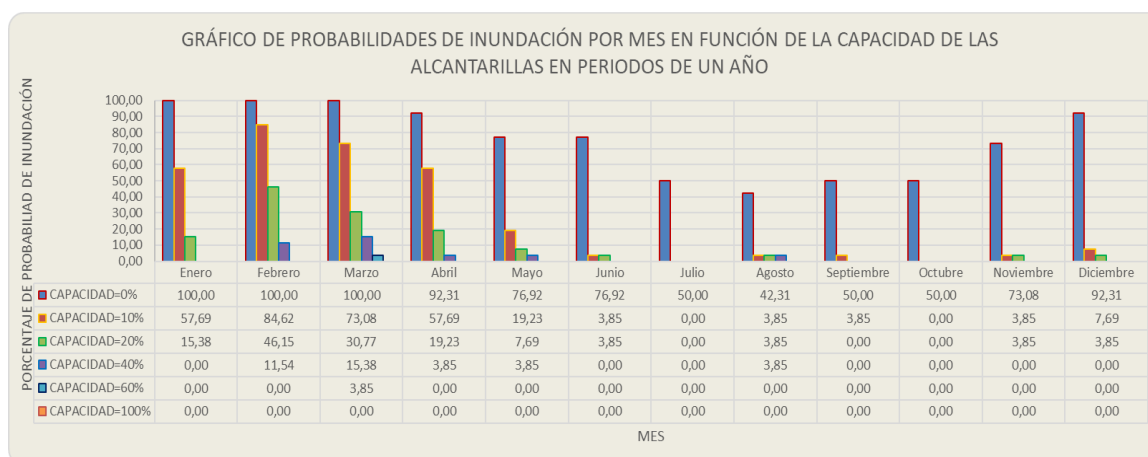
Para alcantarillas de radios hidráulicos semejantes, el caudal que descarga depende de la gradiente. A mayor gradiente, mayor caudal.

Análisis Probabilístico de inundaciones: El análisis probabilístico de inundaciones en la

zona de estudio se lo realizó en varios escenarios que se muestran en los siguientes gráficos:

En los gráficos las barras representan la probabilidad de inundación por mes en función de los diferentes escenarios como pueden trabajar las alcantarillas.

Ilustración 1. Análisis Probabilístico de inundaciones por año:



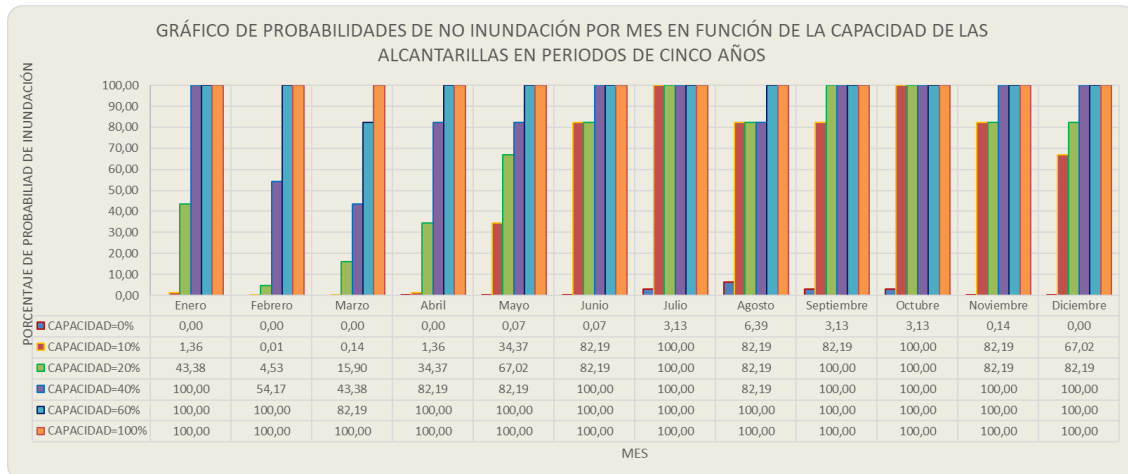
Durante los meses de invierno, la probabilidad de inundación por año es alta, por ser la pluviosidad mayor, además, al tener los mismos

elementos de descarga, y subir el nivel del río; siempre y cuando las alcantarillas trabajen a capacidades bajas.

Cuando las alcantarillas trabajan a capacidades altas son bajas las

probabilidades de inundación, sea cual sea la época del año.

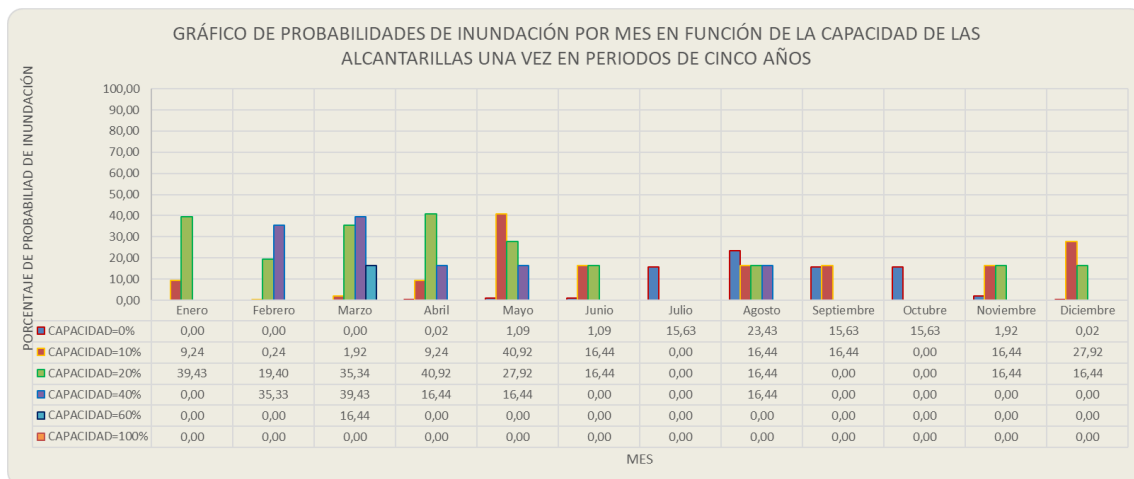
Ilustración 2. Probabilidad de no inundación.



Cuando las alcantarillas trabajan a capacidades altas, las probabilidades de no inundación durante periodos de cinco años son altas en cualquier época, mientras

que si las alcantarillas trabajan a capacidades bajas las probabilidades son bajas, sobre todo durante el invierno.

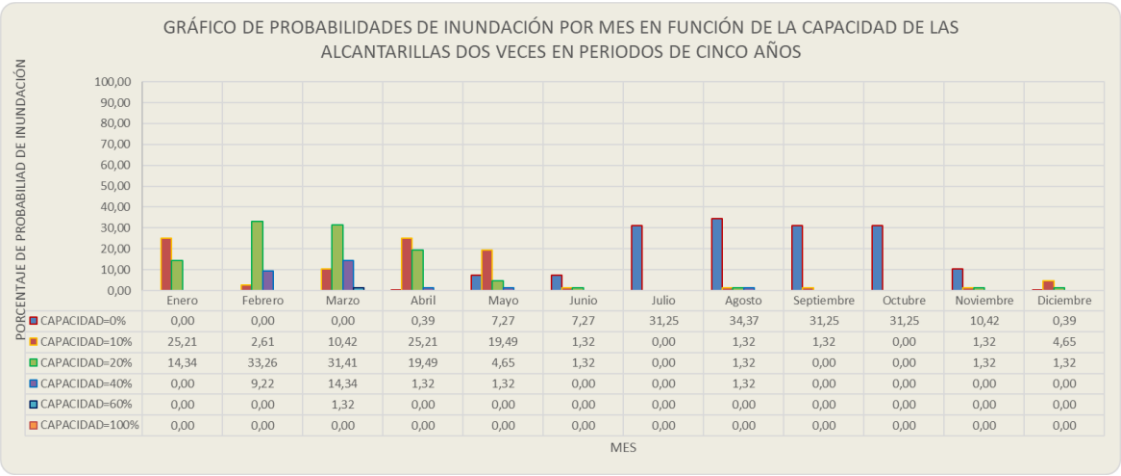
Ilustración 3. Probabilidad de inundación una vez en cinco años.



Las probabilidades de inundación una vez en periodos de cinco años son más altas cuando las alcantarillas trabajan a capacidades

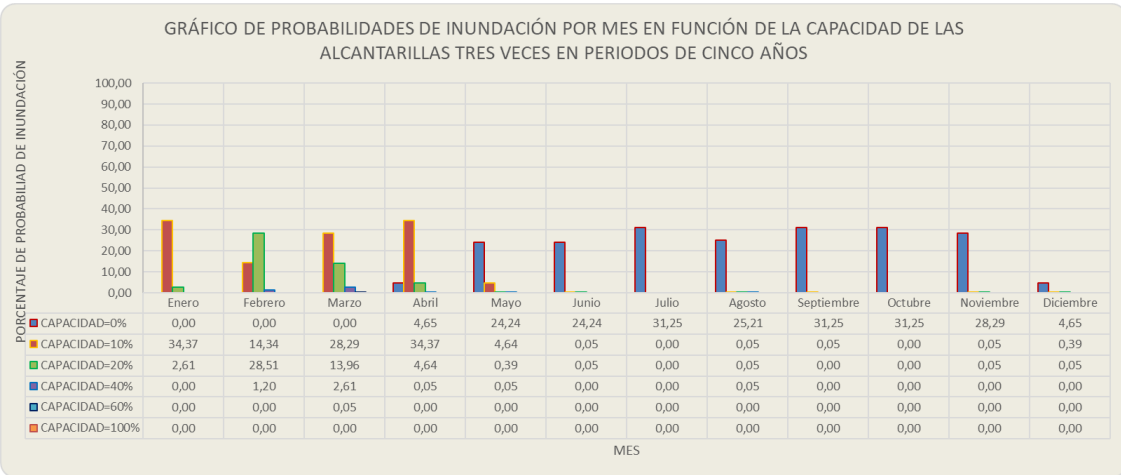
entre 20 y 40 por ciento en épocas de invierno.

Ilustración 4. Probabilidad de inundación dos veces en cinco años

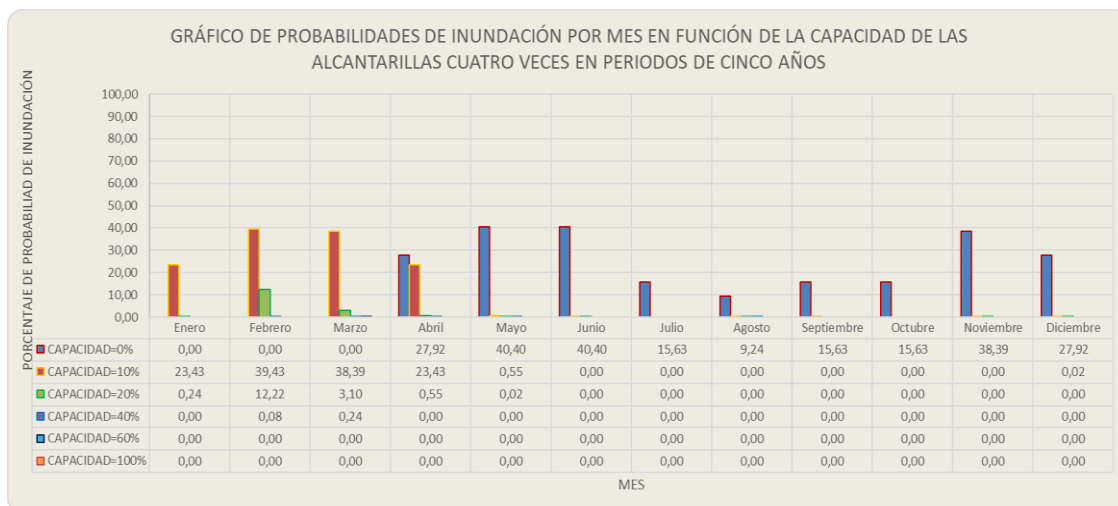


Las probabilidades de inundación dos veces en periodos de cinco años son más altas cuando las alcantarillas trabajan a capacidades entre 10 y 20 por ciento en épocas de invierno.

Ilustración 5. Probabilidad de inundación tres veces en cinco años.

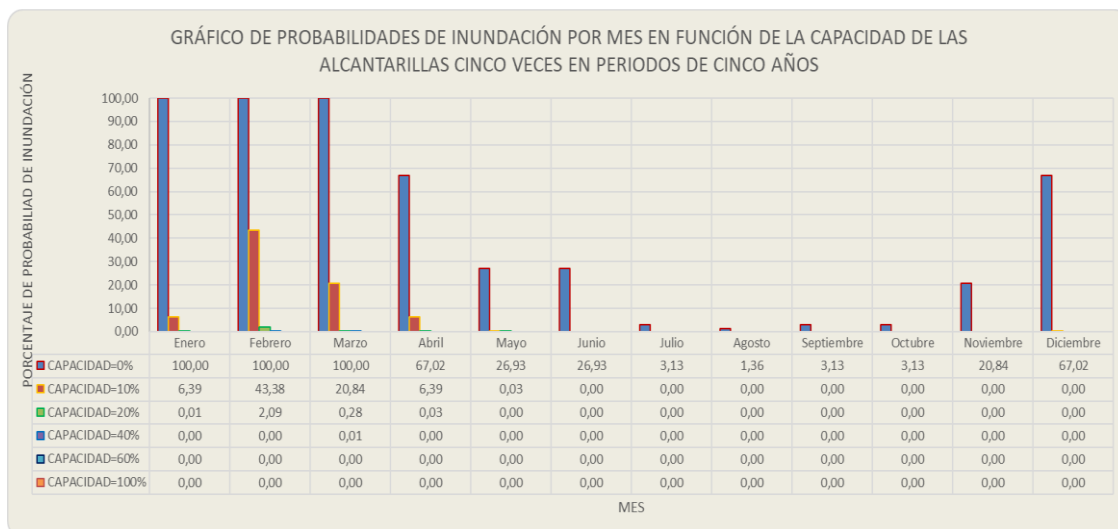


Las probabilidades de inundación tres veces en periodos de cinco años son más altas cuando las alcantarillas trabajan a capacidades entre 10 y 20 por ciento en épocas de invierno.

Ilustración 6. Probabilidad de inundación cuatro veces en cinco años

Las probabilidades de inundación cuatro veces en periodos de cinco años son más altas cuando las alcantarillas trabajan a capacidades de cero por ciento entre los meses

de abril y diciembre y cuando trabajan a capacidades de 10 por ciento entre los meses de enero y abril.

Ilustración 7. Probabilidad de inundación cinco veces en cinco años.

Las probabilidades de inundación cinco veces en periodos de cinco años son altas cuando las alcantarillas trabajan a capacidades de cero por ciento entre los meses de noviembre y junio y cuando

trabajan a capacidades de 10 por ciento entre los meses de febrero y marzo.

5. Conclusiones

- Luego de hacer el análisis bibliográfico correspondiente; se determinó un procedimiento para análisis probabilístico de inundaciones en el cual se utilizaron los siguientes métodos:

- Análisis Hidrológico: Método Racional
- Análisis Hidráulico: Método de Manning
- Análisis Probabilístico: Modelo de Distribución Binomial

- Luego de haber realizado el análisis hidrológico de las cuencas aportantes de caudal en la zona de estudio se ha determinado que los caudales a considerar para un período de retorno de 50 años son los siguientes:

IDENTIFICACIÓN	CAUDAL (m3/seg)
CUENCA 1	8.03
CUENCA 2	14.08
CUENCA 3	5.58
CUENCA 4	0.04
CUENCA 5	0.06
CUENCA 6	1.54
CUENCA 7	0.02
CUENCA 8	0.01
CUENCA 9	0.07
TOTAL	29.41

- Después de realizar la evaluación de la capacidad hidráulica del drenaje de las alcantarillas de la carretera Rocafuerte - Charapotó, Sector Bebedero se ha determinado que la capacidad del drenaje es la siguiente:

IDENTIFICACIÓN	CAUDAL (m3/seg)
ALCANTARILLA 1	5.38
ALCANTARILLA 2	11.93
ALCANTARILLA 3	14.15
ALCANTARILLA 4	8.01
TOTAL	39.47

- Se elaboró un procedimiento de análisis probabilístico de inundaciones que consta de las siguientes partes:

- Análisis Hidrológico de cuencas
- Análisis Hidráulico de obras de drenaje existentes
- Comparación de caudales Hidrológicos de cuencas versus capacidades hidráulicas de obras de drenaje existentes.
- Determinación de la probabilidad de inundación de la zona de estudio mediante el modelo de distribución binomial.

- Se determinó que el río Viejo influye directamente con las

inundaciones en la carretera, ya que su cota máxima de inundación es más alta que la cota de la losa de piso de las alcantarillas.

- Luego de realizar un estudio se logró determinar la probabilidad de inundación en la carretera Rocafuerte- Charapotó Sector Bebedero utilizando el modelo de distribución Binomial, mediante el cual se llegó a las siguientes conclusiones:

- Durante el periodo de invierno hay altas probabilidades de inundación en la carretera cuando las alcantarillas trabajan con capacidades bajas.
- Durante el periodo de invierno son bajas las probabilidades de inundación en la carretera siempre y cuando las alcantarillas trabajen con capacidades altas.
- Durante el periodo de verano las probabilidades de inundación son bajas, ya sea que las alcantarillas trabajen con capacidades altas o bajas.

Bibliografía

- Alvarado, H., & Batanero, C. (2007). Dificultades de la comprensión de la aproximación normal a la distribución binomial. *Números: Revista de didáctica de las matemáticas*, 1-7.
- Béjar, M. (2008). *Hidráulica de Canales*. San José: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bustamante, W., Velásquez, J., & Ontiveros, R. (2016). *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del agua Coordinación de riego y drenaje.
- Carvajal, L. (2017). *Análisis comparativo del funcionamiento hidráulico de la tubería metálica corrugada y la tubería novafort, utilizadas para drenaje vial*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- García, D. (2008). *Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Escuela Politécnica Superior.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). *Elementos morfológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires:

Editorial de la Universidad de la Plata.

- Gómez, M., Gaspari, F., Perdomo, R., Simontacchi, L., Montealegre, F., Rodríguez, A., . . . Sinisterra, G. (2017). Modelos digitales de elevación: correcciones altimétricas para uso hidrológico en áreas de llanura. *Acta geológica lilloana*, 1-12.
- Gutiérrez, V. (2016). Episodios de inundaciones en España, 1995-2014. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Jiménez, O. (2015). Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning. *Tecnología y Ciencias del agua*, 33-38.
- López, R. (2002). Fórmulas estadísticas de resistencia al flujo para hidráulica fluvial. *Cimbra*, 39-42.
- Paredes, C., Salinas, W., Martínez, X., & Jiménez, S. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía, UNAM*, 118-130.
- Rincón, L. (2007). Curso elemental de Probabilidad y Estadística. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Rocha, A. (2007). Evaluación de las constantes inundaciones en la ciudad de Morelia, Mochacán, México. 23-25.
- Vélez, J., & Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y el tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luís Manizales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Vera, C., Jaramillo, J., & Sanga, C. (2009). Análisis hidrológico de la cuenca del cerro colorado y su interacción con la autopista terminal terrestre-Pascuales. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.