



Análisis del sistema de gestión y alerta temprana en el municipio de Pajarito Boyacá

En el marco del diplomado titulado:

Sistemas de Información Geográfica

Celebrado en la ciudad de Cajicá entre el 07 de mayo del año 2021 y el 07 de julio del año 2021.

Presentado por:

Juan Manuel Sanabria Guio

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada
Programa Académico de Ingeniería Civil
Cajicá, Colombia

Septiembre, 2021

Análisis del sistema de gestión y alerta temprana en el municipio de Pajarito Boyacá

Juan Manuel Sanabria Guio

Ensayo científico-académico para obtener el título de:
Ingeniero Civil

Línea de Investigación:
Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada
Programa Académico de Ingeniería Civil
Cajicá, Colombia

Septiembre, 2021

INTRODUCCIÓN

En Colombia existen diversas problemáticas que afectan a todos los sectores de la economía, concentrando en ciertas zonas múltiples fenómenos tanto antrópicos como naturales que desestiman el desarrollo económico y social de ciertas poblaciones, caracterizadas principalmente por su lejanía con relación a centros urbanos más habitados. Estos enigmas son observados en municipios como los que comunican departamentos de Boyacá, Casanare y Cundinamarca, albergando fenómenos naturales que, junto con su topografía generan dificultad para el flujo de bienes en pro de la economía nacional. No es difícil reconocer los factores que producen estas anomalías, ya que tienen un patrón hidrológico detonante en común, asistido por una deplorable infraestructura vial.

El presente trabajo tiene como finalidad verificar y examinar las amenazas de origen hidrológico a las que se encuentra expuesto el municipio de Pajarito en el departamento de Boyacá, que resultan del estudio de antecedentes y posterior generación técnica de alertas tempranas para proximidades con el Río Cusiana, concluyendo en la concientización frente al desarrollo de desastres y situaciones de vulnerabilidad.

PLANTEAMIENTO DE LA TESIS

El Río Cusiana emerge en el departamento de Boyacá más exactamente en el margen oriental de la cordillera Oriental, abastecido por las desembocaduras aluviales de las quebradas Las Cañas, Iglesia y Melgarejo, que a su vez nacen de uno de los ecosistemas estratégicos más importantes del departamento y del país como el páramo de Siscunsi, alimentando hídricamente a esta región y al contiguo departamento del Casanare. El trayecto de este cuerpo de agua transita por cercanías del municipio de Pajarito, circulando por veredas como Sabanalarga, Magavita, Miraflores, entre otros, señalando que el entorno más poblado resulta el área de estudio, debido a que sus alrededores manifiestan peculiaridades topográficas importantes (Corpoboyaca, s.f.).

En la Tabla 1 se enuncian los acontecimientos históricos más relevantes presenciados en el municipio de Pajarito por influencia del Río Cusiana, dada por medios reconocidos en un periodo de estudio de treinta años.

Tabla 1
Antecedentes históricos en el municipio de Pajarito.

FECHA	TIPO DE EVENTO	OBSERVACIONES DE LOS EFECTOS	FUENTES
1984-07-27	Deslizamiento	Por efecto de la lluvia se ocasiono deslizamiento en la vía que comunica Sogamoso- Yopal.	EL TIEMPO 1984-08-01
1985-06-09	Deslizamiento	Lluvias que habrían comenzado 48 horas antes del evento, las cuales no cesaban ocasionaron grandes deslizamientos de tierra en Pajarito, donde la carretera construida en una loma se fue al abismo.	EL TIEMPO 195-06-11 P.12A
1985-06-09	Deslizamiento	Sitio Monterralo hubo deslizamiento de tierras por fuertes lluvias.	EL TIEMPO 1985-06-11 P12A
1986-10-16	Deslizamiento	Los desprendimientos de tierra se presentaron en: Quebrada La Rocha, Unete y Puerta Vieja. Vía al Cusiana que comunica a Yopal con el resto del país.	EL TIEMPO 1986-10-16 6B
1994-03-03	ALERTA AMARILLA	Se declaró alerta amarilla para evitar la erosión del río Cusiana.	EL TIEMPO
2001-08-09	Deslizamiento	Por causa de las lluvias hubo desprendimientos de tierra.	DNPAD
2004-06-27	Deslizamiento	Cerrada vía Sogamoso- Yopal por derrumbe en el sitio de Los Grillos kilómetro 89 cerca al municipio de Pajarito	EL TIEMPO 2004-06-28
2008-07-17	ALERTA AMARILLA	Alerta por deslizamiento en la vía que conduce de Sogamoso a Pajarito, por causa de las fuertes lluvias.	EL TIEMPO
2015-06-29	Crecida del cauce	El Río Cusiana tuvo una crecida la cual ocasiono el cierre de la vía Sogamoso- Pajarito- Aguazul. La carretera va muy a nivel del río.	EL TIEMPO
2016-07-12	ALERTA ROJA	La temporada invernal en el departamento de Boyacá, tiene en alerta roja por deslizamiento a 25 municipios entre ellos Pajarito.	www.rcnradio.com
2018-10-08	ALERTA ROJA	Se presenta alerta roja en el municipio de Pajarito por amenaza de alta ocurrencia de deslizamientos en áreas inestables.	Caracol radio Tunja

Nota: Elaboración propia con información extraída de múltiples medios de comunicación (El Tiempo, RCN y Caracol).

Resulta ineludible imaginar la cantidad de problemáticas que este municipio ha enfrentado, cuando está a merced de épocas de lluvias prolongadas, caracterizadas por precipitaciones intensas y periodos de retorno desafiantes, concluyendo inequívocamente en desastres naturales con precedentes nada optimistas, que a pesar de contar con información proveniente de la experiencia no se llevan a cabo

los respectivos procedimientos para minimizar el riesgo y mitigar parcialmente las amenazas.

DISCUSION

Al examinar la información precedente del municipio de Pajarito, fue posible organizar y argumentar los enigmas con sus respectivas soluciones, denotando problemáticas tanto naturales como las conducidas por actividades antrópicas. En la Tabla 2 se exponen las irregularidades más notables desde un panorama ambiental, detallando los procesos subsecuentes junto con las alternativas de reparación y/o restauraciones necesarias para minimizar daños a los recursos propios de la región.

Tabla 2

Síntesis de los problemas del Río Cusiana en cercanías con el municipio de Pajarito.

CAUSA	PROBLEMA	EFEECTO	GRAVEDAD	AGENTES QUE LO OCASIONAN	SOLUCIÓN
Intervención y deterioro de cuerpos de agua por deforestación, apropiación de los terrenos circundantes a las fuentes hídricas, para vivienda, cultivos y praderas; pérdida de la cobertura vegetal, demanda excesiva sin control del recurso hídrico de sus rondas y de las zonas de regulación del recurso hídrico.	DETERIORO DE LA CALIDAD HÍDRICA	Disminución de la cantidad y calidad del recurso hídrico, Erosión, socavación, deslizamientos, desbalance hidrológico, inundaciones. Disminución de corredores biológicos naturales a lo largo del curso del río.	ALTA	Población urbana y rural, CORPORINOQUIA, Administraciones Municipales, Administración Departamental, Sector Petrolero.	Aplicar la zonificación existente en los POTs para evitar la intervención de áreas no aptas para el establecimiento de cultivos y praderas, aprovechando los suelos con mayor aptitud las actividades agropecuarias y conservando áreas de importancia ambiental. Investigación de variaciones estacionales y productividad de ecosistemas hídricos Prohibir y controlar la intervención de estas áreas. Promover e implementar programas de reforestación protectora en zonas de conservación.
Vertimientos de aguas residuales domésticas, por actividades agropecuarias, agroindustriales y petroleras; carencia de sistemas de tratamiento de agua eficientes, vertimiento de aguas residuales de mataderos, lavaderos de carros, marraneras, restaurantes y paraderos		Fuentes de agua contaminadas Posibles riegos de salud para la población y para la fauna.		Población urbana y rural, Sector agropecuario, CORPORINOQUIA, Administraciones Municipales, Administración Departamental, Sector Petrolero.	Optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los cascos urbanos de los municipios.
Ampliación de la frontera agrícola, deforestación, apropiación de los terrenos circundantes a las fuentes hídricas, para vivienda, cultivos y praderas; pérdida de la cobertura vegetal.		Deterioro de las corrientes de agua superficiales, represamientos, destrucción de infraestructura, aumento de la carga y transporte de sedimentos en el agua.	MEDIA	Población urbana y rural, Sector agropecuario, Corpoboyacá, CORPORINOQUIA, Administraciones Municipales, Administraciones Departamentales.	Implementar un programa de asistencia técnica e inversión estatal para producción agropecuaria sostenible en áreas de alta montaña. *Promover alternativas sostenibles de desarrollo económico (ecoturismo, piscicultura, especies menores, derivados lácteos, artesanías, etc). Desarrollar un programa de educación ambiental a diferentes niveles y con amplitud de actores, niños y adultos, para orientar y sensibilizar a la comunidad. Realizar un control más eficiente sobre las concesiones de agua

					otorgadas y sobre los caudales captados realmente. Optimizar la infraestructura de irrigación (captación, conducción y distribución) en la cuenca. Educación ambiental.
Captaciones de agua sin concesión de agua otorgada por la autoridad ambiental (CORPORINOQUIA).		Desperdicio de agua, bajos niveles de recaudo por concepto de tasas de uso del agua.	MEDIA	Población urbana y rural, Sector agropecuario, CORPORINOQUIA, Administraciones Municipales, Administración Departamental.	Realizar un control sobre las captaciones de agua superficiales y subterráneas existentes en la cuenca; educación Ambiental.
Desecación de Lagunas, pantanos, humedales y esteros para aprovechamiento pecuario y petrolero (Canalización, acequias para riego, construcción de pozos profundos para extracción de agua en áreas de explotación de petróleo).	BAJOS NIVELES DE ADMON Y DISTRIBUCION DEL RECURSO O HIDRICO	Disminución del recurso hídrico, cambios en las condiciones del microclima del área, pérdida de cadenas productivas disminución de fauna y de la flor típica de estos ecosistemas.	ALTA	Extracción ilimitada e incontrolada de recursos hídricos, disminución drástica del caudal del río Cusiana como acuífero de recarga para la sabana y sus humedales	Incorporación del componente ambiental a los convenios y acuerdos comerciales de uso de los recursos naturales, e internalización en las industrias de los costos ambientales
Avenidas torrenciales		Disminución de la productividad. Pérdida del suelo	MEDIA	Comunidad rural	Capacitación y estudios detallados.

Nota: Elaboración propia con información extraída del Ministerio de Ambiente, IDEAM, Corpoboyacá y Corporinoquia.

A través de la recopilación de información digital de múltiples fuentes, fue posible desarrollar los cálculos y procedimientos necesarios para determinar los umbrales de alerta, encabezados principalmente por la adquisición de un modelo DEM (Modelo Digital de Elevación) y datos de variables climáticas, ambientales, entre otros.

Como primer paso, se solicitó información al IDEAM de valores medios de precipitación, nubosidad y caudal captados por estaciones pluviométricas en la zona estudio, destacando que cerca del 70% de la información era útil, para luego aplicar los métodos Log-Normal y Gumbel para establecer los valores medios y máximos mensuales las variables seleccionadas. A continuación, se enuncian las ecuaciones y las tablas para las variables estandarizadas que se usaron para determinar los caudales máximos para periodos de retorno de 5, 20 y 100 años.

Cabe destacar que los valores máximos se obtienen de hallar el valor de los datos de cada mes en el transcurso de cierta cantidad de años, siendo así para un mes se tiene un solo valor máximo. También se halla el valor de la desviación estándar con su respectiva fórmula. El coeficiente de asimetría se halla siguiendo la ecuación, en donde se toma el tercer momento central de la muestra sobre la desviación estándar al cubo, así para cada uno de los meses se determina su respectivo coeficiente. Con este parámetro mencionado, se procede a hallar por el método

Log-normal los valores medios, siguiendo la formula y haciendo uso de los valores de los datos absolutos en este caso específicamente de los medios, la desviación estándar y el valor de la tabla Cs. Esto se realiza para cada periodo de retorno, en este caso de 5, 20 y 100 años. Por otra parte, el coeficiente de variación se halla al dividir la variación estándar entre el valor de medios de cada mes. Luego se procede a calcular la distribución Gumbel (Med), partiendo de los valores de los medios de los datos absolutos y el valor del coeficiente de variación por el valor que se da según el tamaño de la muestra, este se halla para los mismos periodos de retorno en cada mes (Monsalve, 1999).

Ecuaciones para determinar los valores de series por el método Log-normal:

$$X = \bar{X} + SK$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

Donde:

S : Desviación estándar de los valores.

C_s : Coeficiente de asimetría de los valores.

X : Valor de la serie.

Tabla 3

Valor del coeficiente de asimetría.

CS	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
	5	20	100
0	0,84	1,64	2,33
0,1	0,84	1,67	2,4
0,2	0,83	1,7	2,47
0,3	0,82	1,72	2,55
0,4	0,81	1,75	2,62
0,5	0,8	1,77	2,7
0,6	0,79	1,79	2,77
0,7	0,78	1,81	2,84
0,8	0,77	1,82	2,9
0,9	0,76	1,84	2,97
1	0,75	1,85	3,03
1,1	0,73	1,86	3,09
1,2	0,72	1,87	3,15
1,3	0,71	1,88	3,21
1,4	0,69	1,88	3,26

1,5	0,68	1,88	3,31
1,6	0,67	1,89	3,36
1,7	0,65	1,89	3,4
1,8	0,64	1,89	3,44
1,9	0,63	1,89	3,48
2	0,61	1,89	3,52
2,1	0,6	1,89	3,55
2,2	0,59	1,89	3,59
2,3	0,58	1,88	3,62
2,4	0,57	1,88	3,65
2,5	0,56	1,88	3,67
2,6	0,55	1,87	3,7
2,7	0,54	1,87	3,72
2,8	0,53	1,86	3,74
2,9	0,52	1,86	3,76
3	0,51	1,85	3,78
3,2	0,49	1,84	3,81
3,4	0,47	1,83	3,84
3,6	0,46	1,81	3,87
3,8	0,44	1,8	3,89
4	0,42	1,78	3,91
4,5	0,39	1,75	3,93
5	0,37	1,71	3,95

*Nota: Las ecuaciones y la información de la tabla son del libro Hidrología en la ingeniería.
Fuente (Monsalve, 1999)*

Ecuaciones para determinar los valores de series por el método Gumbel:

$$K_t = 0.7797 \left[0.5772 + \ln \left(\frac{\ln T_x(x)}{T_x(x) - 1} \right) \right]$$

$$X = \bar{X}(1 + C_V K_T)$$

Donde:

$T_x(x)$: Periodo de retorno deseado de la cantidad calculada.

C_V : Coeficiente de desviación estándar.

K_T : Variable estandarizada.

X : Valor de la serie.

Tabla 4

Valor de desviación estándar.

TAMAÑO DE LA MUESTRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)		
	5	20	100
15	0,967	2,41	4,005
20	0,919	2,302	3,836
25	0,888	2,235	3,729
30	0,866	2,188	3,653
35	0,851	2,152	3,598
40	0,838	2,126	3,554
45	0,829	2,104	3,52
50	0,82	2,086	3,491
55	0,813	2,017	3,467
60	0,813	2,059	3,446
65	0,801	2,048	3,429
70	0,797	2,038	3,413
75	0,792	2,029	3,4
80	0,788	2,02	3,387
85	0,785	2,013	3,376
90	0,782	2,007	3,367
95	0,78	2,002	3,357
100	0,779	1,998	3,349
INFINITO	0,719	1,866	3,137

Nota: Las ecuaciones y la información de la tabla son del libro Hidrología en la ingeniería.
Fuente (Monsalve, 1999)

Tabla 5

Caudales máximos mensuales.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DICI
1999	45,7	52,4	66,1	10,5	45,3	48,7	69,1	64,0	60,3	51,9	31,5	15,8
2000	7,7	76,5	85,4	13,7	42,7	46,8	48,4	56,6	39,0	39,6	33,5	22,6
2001	45,7	52,2	64,1	10,5	45,3	64,1	64,0	56,6	39,0	20,4	20,1	14,9
2002	4,6	26,0	43,0	12,5	29,6	108,3	44,1	84,7	43,3	18,6	18,2	65,0
2003	40,0	26,5	77,4	26,2	48,4	50,5	79,3	53,7	40,3	36,6	28,2	18,6
2004	99,1	76,6	96,3	26,5	80,7	90,9	70,3	75,4	45,5	25,4	28,5	10,3
2005	74,1	75,2	48,7	23,8	47,6	42,3	40,9	55,5	52,6	37,7	43,6	95,3
2006	50,8	44,7	10,2	21,9	52,5	72,9	92,0	63,0	41,5	72,7	54,1	16,3
2007	94,3	68,5	10,6	26,8	55,3	75,1	58,1	84,7	34,3	32,2	16,1	78,8
2008	36,4	29,7	37,9	60,3	23,4	32,1	40,2	23,5	18,4	16,3	23,5	36,0
2009	21,1	42,0	15,0	94,3	30,1	67,1	54,1	65,7	28,6	33,4	24,8	10,9
2010	49,0	44,7	74,2	33,4	46,1	34,6	66,1	37,4	25,4	28,1	24,2	10,6
2011	54,5	43,7	92,2	36,9	59,8	48,3	35,8	34,4	53,5	53,2	40,0	29,4
2012	12,2	10,5	12,0	68,2	69,7	83,6	107,2	49,6	39,0	39,6	33,5	41,5
2013	80,9	71,1	10,5	13,5	24,5	26,9	50,7	50,0	36,4	33,7	22,4	14,6

2014	84,9	66,2	92,5	16,3	22,4	55,8	115,0	77,1	51,0	59,9	44,1	24,2
2015	19,3	17,9	15,7	41,9	46,3	142,3	52,5	30,2	14,6	73,5	83,7	61,8

Nota: Valores correspondientes al caudal de la estación Pajarito [m^3/s]. Fuente (IDEAM, 2021)

A partir de la información suministrada por el IDEAM y las ecuaciones anteriormente enunciadas se obtienen los siguientes valores:

Tabla 6

Caudales máximos mensuales a lo largo de los últimos 15 años.

MES	PERIODOS DE RETORNO		
	5 AÑOS	20 AÑOS	100 AÑOS
ENERO	245,16	464,98	708,79
FEBRERO	235,64	475,07	740,64
MARZO	230,34	432,07	655,82
ABRIL	212,51	390,34	587,60
MAYO	289,31	603,20	951,36
JUNIO	424,14	848,29	1318,75
JULIO	407,83	848,51	1337,31
AGOSTO	327,19	692,11	1096,88
SEPTIEMBRE	236,41	501,46	795,45
OCTUBRE	227,46	459,16	716,15
NOVIEMBRE	239,92	475,02	735,79
DICIEMBRE	206,30	373,35	558,64

Nota: Valores correspondientes al caudal de la estación Pajarito [m^3/s]. Elaboración propia.

Tabla 7

Caudales máximos absolutos a lo largo de los últimos 15 años.

PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	CAUDAL [M^3/S]
5	226.89
20	472.06
100	744.00

Nota: Valores correspondientes al caudal de la estación Pajarito [m^3/s]. Elaboración propia.

Como procedimiento anexo se enuncian los umbrales de alerta, junto con el caudal ecológico, obteniendo:

Tabla 8

Umbrales de alerta.

PARÁMETRO	VALOR [M^3/S]	PORCENTAJE [%]
-----------	-------------------	----------------

CAUDAL ECOLOGICO	5.08	70
ALERTA AMARILLA ADECUADA	50.09	50
ALERTA NARANJA ADECUADA	75.09	13
ALERTA ROJA ADECUADA	92.00	5

Nota: Parámetros establecidos bajo un promedio del porcentaje asignado. Elaboración propia.

Una vez realizados todos los procesos y cálculos referentes a los diferentes caudales del Río Cusiana, se procedió a implementar programas para delimitar la problemática que enfrenta la población del municipio de Pajarito. De manera preliminar se descargaron: un DEM (Modelo Digital de Elevación) del portal de información espacial Alaska Satellite Facility, una imagen satelital del programa SAS Planet y un archivo no topológico de ubicación con atributos propios del municipio de Pajarito tipo shapefile, para luego recortar el DEM con los datos geográficos y de ubicación del archivo shapefile, generando posteriormente tanto las curvas de nivel del área de estudio como un archivo TIN, que describan la morfología de la superficie en forma de datos geográficos digitales, a través de un proceso de triangulación propio de los atributos del DEM.

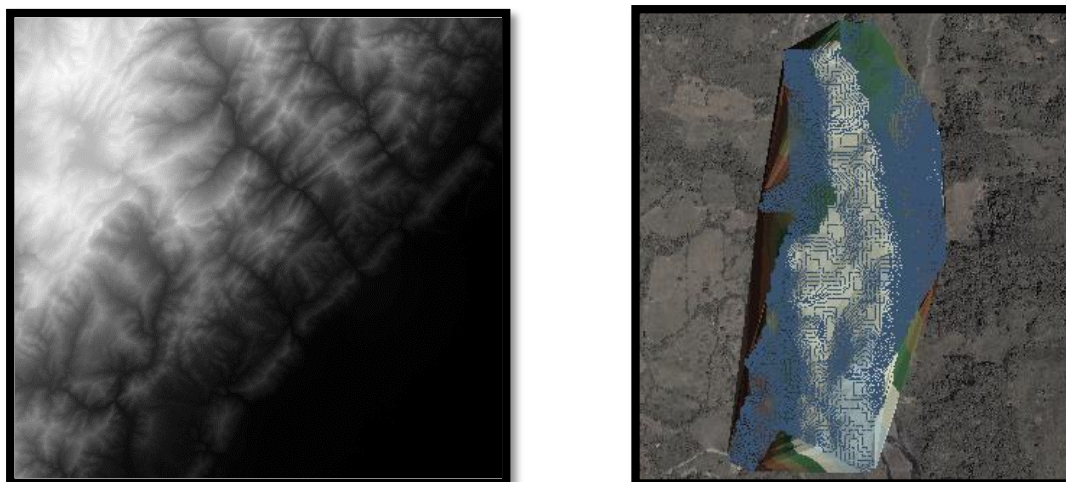


Figura 1. DEM, TIN, curvas de nivel e imagen satelital del municipio de Pajarito.

Fuente: Alaska Satellite Facility y SAS Planet.

Seguidamente, se generaron y exportaron las secciones transversales del río a través de la herramienta HEC-GeoRAS, destacando el uso de las funciones: Stream Centerline, Bank Lines, Flow Path Centerlines, XS Cut Lines, entre otras.

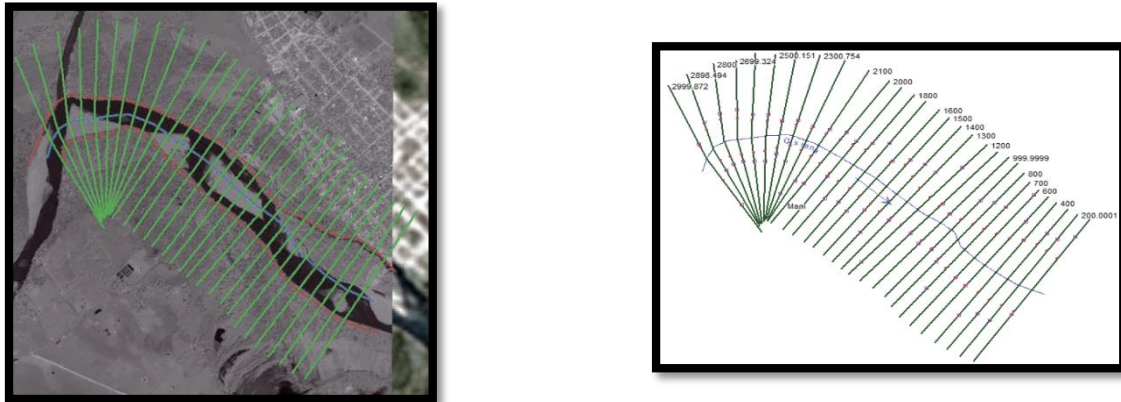


Figura 2. Secciones transversales del Río Cusiana.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se dio apertura al archivo exportado en el programa HEC-RAS con el objetivo de generar la modelación hidráulica del río. Para ello se ingresaron los valores de rugosidad y el valor de los parámetros de caudal y periodos de retorno, específicamente a 5, 20 y 100 años.

Tabla 9

Valores típicos del coeficiente de rugosidad η de Manning.

TIPO DE ESTRUCTURA	MATERIAL SUPERFICIE LINEAMINETO	η
RIOS	ALUVIAL, ALINEAMIENTO RECTO	0,02 – 0,025
	ALUVIAL, CAUCE CON MEANDROS	0,03 – 0,05
	GRAVAS (75-150mm), RECTO	0,03 – 0,04
	GRAVAS (75-150mm), CON MEANDROS	0,04 – 0,08
CANALES NO REVESTIDOS	ALUVIAL – RECTO	0,018 – 0,025
	ROCA – RECTO	0,025 -0,045
CANALES REVESTIDOS	CONCRETO	0,012 – 0,017
CANALES DE LABORATORIO	METAL LADOS EN PVC O VIDRIO	0,009 – 0,01
ALCANTARILLAS	CONCRETO	0,012 – 0,015
ASFALTO	ARCILLA VITRIFICADA	
	LISO / RUGOSO	0,013 / 0,016

Nota: La información de la tabla son del libro *Introducción a la hidráulica de canales*. Fuente (Duarte, 2016)

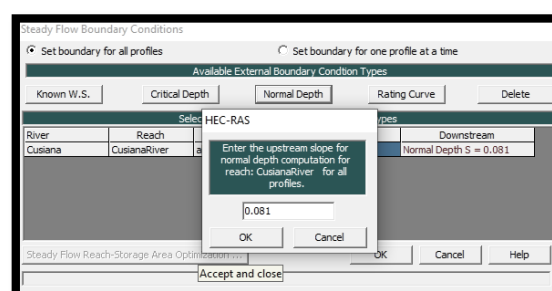
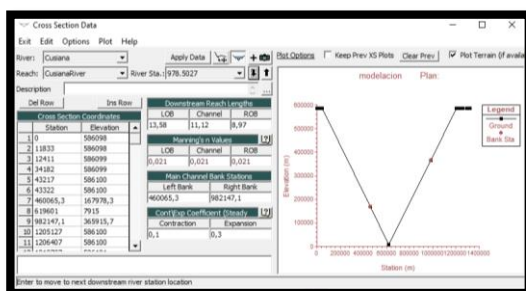


Figura 3. Inserción del valor de los parámetros propios del Río Cusiana.

Fuente: Elaboración propia.

Culminado el proceso de incorporación de valores al programa, se dispone a establecer el régimen de flujo como mixto, seguido de la compilación de los datos ingresados, que generan los perfiles de flujo para los periodos de retorno ingresados previamente.

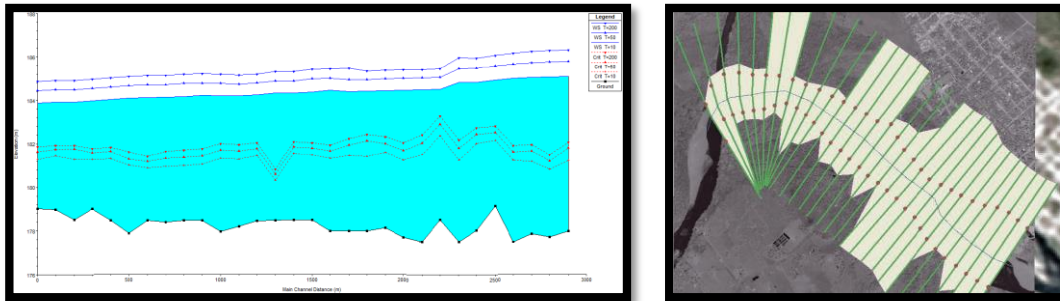


Figura 4. Perfil de flujo y secciones transversales para periodos de retorno de 5, 20 y 100 años.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se exporta el archivo en formato XML y se abre en ArcGIS con el fin de generar la mancha de inundación, empleando nuevamente la herramienta HEC-GeoRAS, más exactamente con la función RAS Mapping.

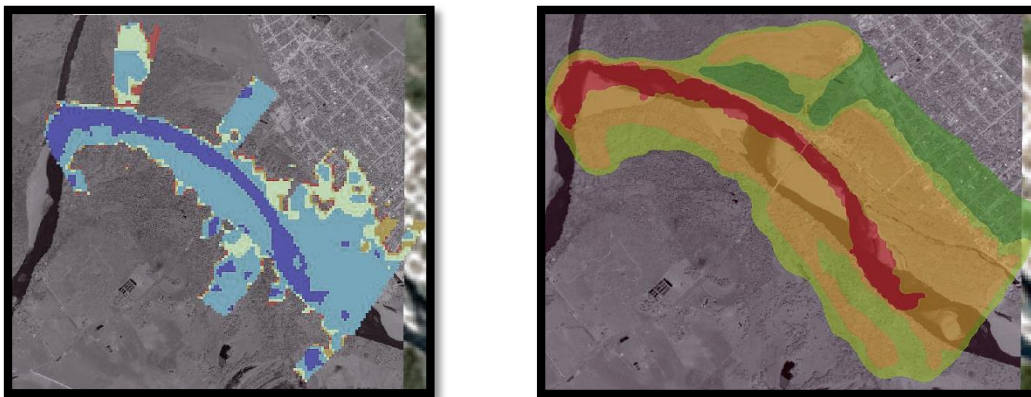


Figura 5. Mancha de inundación del Río Cusiana.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Los datos proporcionados por IDEAM con información de precipitación y caudales de la cuenca del río Cusiana se remontan desde los años 1957 hasta 2016, sin embargo, las estaciones no contienen información útil para el proyecto, además de esto, solo se tiene información de

aproximadamente 16 años haciendo que la veracidad de los cálculos se vea disminuida.

- La simplicidad de los cálculos y procedimientos que describe la distribución de Gumbel es recomendable, por su dinámica y fácil metodología de cálculo, destacando que este método es el más utilizado para calcular valores extremos, que al ser aplicados a la teoría resultan en la predicción de valores futuros de variables para análisis importantes, como construcciones dependientes de series de datos de precipitaciones en cuanto a la hidrología.
- La información de las estaciones pluviométricas que se analizaron es confiable y cuenta con un registro histórico aceptable, aunado a la distribución normal es una de las distribuciones de probabilidad de variables continua con más frecuencia en la aparición de fenómenos reales.
- Es posible afirmar que los periodos de retorno estimados, dimensionan una situación de amenaza alta específicamente para fases temporales contempladas a los 20 años y media para los lapsos de 5 y 100 años, sustentadas a partir de la mancha de inundación generada a través de metodologías avanzadas.
- Al equiparar el valor de los caudales máximos absolutos con los umbrales de alerta, se deslumbra la magnitud de agua que podrá transitar en el panorama más extremo, aproximadamente en una proporción 8 a 1, comparada con el umbral de alerta roja adecuada.
- Teniendo en cuenta el considerable número de años con sus respectivos datos es posible asimilar que los resultados presentan una alta confiabilidad, debido a la gran cantidad de información suministrada, haciendo que la función de distribución de probabilidad de Gumbel es la más apropiada para obtener valores probables del periodo de retorno para cada uno de los meses y años, independientemente que se trabaje con series de datos máximos, medio y mínimos.
- El valor de los caudales máximos mensuales se acrecienta de manera más abrupta a corto que a largo plazo, evaluando de manera exhaustiva las oscilaciones cuantitativas que describen el flujo específicamente en los tres y últimos meses de los periodos de retorno establecidos.
- Se debe contemplar la idea de reorganizar territorialmente cada uno de los territorios que se encuentran amenazados por las crecientes modeladas, de manera que se mitiguen en cierta medida las consecuencias de un fenómeno natural extremo.
- La modelación generada del Río Cusiana dimensiona la magnitud de las problemáticas que se pueden presenciar, por esta razón se sugiere en el

desarrollo de un proceso de operación logística al momento en el que se produzca una creciente que pueda amenazar ciertas zonas pobladas en el municipio de Pajarito.

- Se recomienda la construcción de senderos flotantes como método para garantizar la movilidad peatonal en cercanías al Río Cusiana, y gaviones como herramienta estructural que mitigue la amenaza de una creciente abrupta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acuña, C., & Ordoñez, M. (2018, agosto). *Evaluación de amenaza y vulnerabilidad por desbordamiento del río Cusiana en la zona urbana de Mani Casanare*. Ciencia de La Salle.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1360&context=ing_civil

IDEAM - IDEAM. (s. f.). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Recuperado 28 de septiembre de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/>

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (2.ª ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

W. (2021, 25 septiembre). *Corpoboyacá*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá.

<https://www.corpoboyaca.gov.co/>

Guía Metodológica para la Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión de Riesgo. (2012).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Retrieved from

<http://www.minambiente.gov.co/>