



## Análisis de inundación en la cuenca número 9529319- 6 (Río Seco) del pacífico de Nicaragua, empleando el modelo HEC-RAS

### Analysis of flooding in basin number 9529319-6 (Río Seco) of the pacific of Nicaragua, using the HEC-RAS model

Liseth Carolina Blandón Chavarría

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. UNAN-Managua, Nicaragua

<https://orcid.org/0000-0003-4125-0332>

[lblandon@unan.edu.ni](mailto:lblandon@unan.edu.ni)

RECIBIDO

20/10/2024

ACEPTADO

17/01/2025

## RESUMEN

La vulnerabilidad de Nicaragua ante los desastres quedó expuesta con el paso del Huracán Mitch en octubre de 1998 lo que motivó que el Estado nicaragüense estableciera en marzo del 2000, un sistema integral para la Reducción del Riesgo de Desastre (RRD) que se denomina "Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED) (FICR, 2013, p. 5). El municipio de Nagarote está expuesto a amenazas tanto naturales como antrópicas; principalmente asociados a fenómenos hidrometeorológicos. En una clasificación de nivel de riesgo realizada en 151 municipios de Nicaragua, Nagarote ocupa el lugar 14, donde el puesto 1 representa el mayor riesgo. Las principales amenazas en la zona son la sequía, calificada con el nivel más alto, seguida por el riesgo de inundaciones y actividad sísmica (ENACAL, 2019, p.60). Además, la falta de cartografía detallada impide identificar con precisión las áreas afectadas y la extensión de la lámina de agua en superficie. Ante este panorama, el presente estudio realiza un análisis de inundación en la cuenca, con el objetivo de identificar espacialmente las zonas más vulnerables y el nivel de la lámina de agua en superficie. Para ello, se empleó una modelación hidrológica mediante sistemas de información geográfica y la herramienta HEC-GeoRAS, simulando escenarios para periodos de retorno de 10 y 25 años. Los principales resultados indican que las zonas con mayor exposición a inundación corresponden con las áreas más pobladas del municipio. De igual manera, en su mayoría el río seco no logra canalizar las aguas lo que provoca inundaciones en ambos márgenes del río donde las velocidades del agua van de 01 a 39 m/s, mientras que la lámina de agua en superficie varía entre 1 y 3 metros de altura en algunas áreas de la cuenca. Es por ello por lo que la identificación de las zonas de inundación frente a un evento extremo cobra gran importancia en la planificación territorial y gestión del riesgo, en especial en municipios altamente expuestos de Nicaragua.

## PALABRAS CLAVE

Planificación territorial; HEC- RAS; análisis de inundación; vulnerabilidad ante inundaciones.



## ABSTRACT

Nicaragua's vulnerability to disasters was exposed with the passage of Hurricane Mitch in October 1998, which led the Nicaraguan State to establish in March 2000 a comprehensive system for Disaster Risk Reduction (DRR) called the "National System for Disaster Prevention, Mitigation and Response (SINAPRED) (IFRC, Disaster Risk Reduction). 2013, p. 5). The municipality of Nagarote is exposed to both natural and man-made threats; mainly associated with hydrometeorological phenomena. In a risk level classification carried out in 151 municipalities in Nicaragua, Nagarote ranks 14th, where position 1 represents the highest risk. The main threats in the area are drought, rated at the highest level, followed by the risk of floods and seismic activity (ENACAL, 2019, p.60). In addition, the lack of detailed mapping prevents the precise identification of the affected areas and the extent of the surface water surface. Against this background, this study carries out an analysis of flooding in the basin, with the aim of spatially identifying the most vulnerable areas and the level of the surface water surface. To this end, hydrological modelling was used using geographic information systems and the HEC-GeoRAS tool, simulating scenarios for return periods of 10 and 25 years. The main results indicate that the areas with the highest exposure to flooding correspond to the most populated areas of the municipality. Similarly, most of the dry river is unable to channel the waters, which causes flooding on both banks of the river where water velocities range from 01 to 39 m/s, while the surface water varies between 1 and 3 meters in height in some areas of the watershed. That is why the identification of flood zones in the event of an extreme event is of great importance in territorial planning and risk management, especially in highly exposed municipalities in Nicaragua.

## KEYWORDS

Territorial planning; HEC-RAS; flood analysis; vulnerability to flooding.

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones suelen producirse en zonas planas y en las proximidades de redes fluviales, que suelen ser las zonas que favorecen el desarrollo de asentamientos humanos. De hecho, la proximidad de la red fluvial facilita el movimiento de personas, el transporte de mercancías y las zonas planas, las prácticas agrícolas y las industrias. El crecimiento de los asentamientos, debido al aumento de la población, la urbanización y el desarrollo de infraestructura son factores agravantes de las inundaciones. De hecho, el sellado del suelo asociado con la urbanización dificulta la retención de agua y acelera la escorrentía (Pesaresi M. et al., 2017, p. 48).

El municipio de Nagarote se encuentra expuesto a amenazas naturales y antrópicas por fenómenos hidro-meteorológicos, en la escala comparativa del nivel de riesgo en 151 municipios de Nicaragua; Nagarote se encuentra ubicado en el lugar 14, considerando que 1 representa el mayor riesgo. Las principales amenazas en la zona son la sequía, calificada con el nivel más alto, seguida por el riesgo de inundaciones y actividad sísmica (ENACAL, 2019, p. 60). Sumado a ello, no se cuenta con una cartografía a escala local que muestre cuales serían las zonas afectadas y la lámina de agua en superficie.

En el estudio “Reporte sobre las Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos ante Inundaciones, Deslizamientos, Actividad Volcánica y Sismos” (SINAPRED, 2005, p. 3-10); se muestra que en el municipio existen zonas denominadas como sitios críticos de inundación fluvial (aumento del caudal de los ríos) que fueron mapeados a nivel de puntos. Las inundaciones son frecuentes y se manifiestan con una intensidad alta debido a que el nivel del agua puede alcanzar 1 metro de altura. En este mismo estudio, se presenta un mapa que muestra que el nivel de riesgo es considerado medio para inundaciones, en el sector urbano del municipio.

En el documento Plan de Ordenamiento Territorial Municipal en Función de las Amenazas Naturales (SINAPRED, 2005, p. 12), explica que Nagarote se encuentra amenazado principalmente por las inundaciones generadas por el desborde de sus ríos y por la crecida del lago Xolotlán, en toda la zona costera hasta la cota de 42 metros sobre el nivel promedio del mar. Las inundaciones en las zonas urbanas representan un desafío, dado los impactos sociales y económicos que generan estos fenómenos.

Teniendo en consideración lo antes mencionado, la presente investigación se convierte en un aporte crucial a la problemática del municipio, porque muestra espacialmente las áreas sujetas a inundación, la velocidad del agua y la lámina de agua en superficie. Este insumo permite elaborar propuestas de ordenamiento en el municipio de Nagarote resilientes y planificadas, al igual que comunidades más seguras y resilientes frente a los desafíos del cambio climático y los riesgos naturales expresados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11).

### Fundamentación teórica

Las inundaciones se consideran unos de los eventos, que en la actualidad se han intensificado a causa del cambio climático y la ocupación del suelo, sin una planificación territorial adecuada. Por su parte Manrique et al. (2017, p. 12), esboza que:

La inundación es la ocupación por el agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, a consecuencia de desbordamiento de ríos o ramblas, lluvias torrenciales, deshielo,

subida de las mareas por encima del nivel habitual, ascenso del nivel freático, embates de mar y maremotos.

Cuando la cantidad de agua transportada excede la capacidad del cauce se produce su desbordamiento, abriéndose nuevas corrientes de agua en las llanuras de inundación. Cuando el agua discurre desbordada y alcanza la zona urbana la corriente o corrientes suelen discurrir por las calles de mayor pendiente. En este sentido, es oportuno señalar que las inundaciones urbanas se producen como resultado directo o indirecto de la modificación del ciclo del agua en las ciudades. La superficie pavimentada y las edificaciones producen un aumento del escurrimiento superficial (que también se hace más veloz) y una disminución de la infiltración, concentrándose el agua en calles y avenidas (Fenoglio, 2019).

La existencia de una amenaza por inundación genera un vacío de información en el momento de la toma de decisiones en cuanto ocupación del territorio, además, provoca inseguridad en las comunidades vulnerables. El análisis del riesgo por inundación es fundamental y según Fenoglio (2019) “consiste en la compilación y el procesamiento de la información suficiente y necesaria para caracterizar la amenaza y la población vulnerable” (p.49).

Es aquí donde la planificación territorial juega un rol importante, pues busca proyectar y organizar el desarrollo de un territorio a largo plazo, y su enfoque principal es definir objetivos políticos y estrategias para el uso y ocupación del suelo, considerando los recursos naturales, las actividades económicas, los riesgos y las necesidades de la población.

Olcina (2004, p. 50), explica que la planificación territorial es entendida como un conjunto de criterios, plasmados en planes, normas o programas que orientan y regulan las actuaciones y procesos de asentamiento sobre el territorio de manera coordinada con la planificación socioeconómica, y la protección de la naturaleza y del patrimonio histórico y cultural, la ordenación del territorio se presenta bien entendida como un instrumento eficaz, económico y ambientalmente sostenible para la reducción del riesgo natural.

En los análisis de inundación se realiza en su mayoría un modelado hidrológico en el cual se emplea el software HEC-RAS. Mora y Ochoa (2016, p. 21) expone que este modelo fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos “U.S. Corp. of Engineers, Hydrological Engineering Center, HEC” es uno de los modelos más utilizados a nivel mundial para estudios hidráulicos de flujo uniforme, unidimensional y permanente, su popularidad se debe a su flexibilidad en la creación de escenarios hidráulicos, a su rapidez en los cálculos, su fácil manejo y operación.

Las aplicaciones de HECRAS a estudios de inundación incluyen determinación de niveles de agua máximos durante avenidas e identificación de zonas inundables y elaboración de mapas de riesgo. HECRAS se considera una herramienta robusta para modelar el flujo en ríos, canales en estudios hidráulicos y gestión del agua.

Finalmente, el análisis de inundación se basa en el estudio de los movimientos del flujo de agua superficial y sus interacciones con el terreno; esto es fundamental para identificar áreas vulnerables, diseñar obras de mitigación y desarrollar estrategias de gestión de riesgo. Por tanto, el objetivo de este artículo consiste en realizar un análisis de inundación en la cuenca 6 en específico en el río seco, identificando espacialmente las zonas más vulnerables y el nivel de la lámina de agua en superficie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tipo de investigación

La investigación es aplicada porque identifica las zonas vulnerables a inundación en la cuenca 9529319- 6; además que proporciona información clave para la gestión de riesgo y la planificación territorial:

Se considera aplicada porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. (Cordero , 2009, p.159)

### Universo y muestra

El universo corresponde a la cuenca 9529319- 6 que tiene una extensión de 16.37 km<sup>2</sup>, se ubica en el municipio de Nagarote, departamento de León (Ver figura 1). En la realización del modelado hidrológico en la cuenca, se tomó como muestra solamente el río seco de todos los afluentes presentes. La razón fundamental es que este río seco atraviesa de norte a sur el área urbana (línea azul en el mapa) del municipio de Nagarote considerándose esta área, como la más crítica por el desbordamiento de las aguas; además de ser la zona más habitada y con mayor exposición al riesgo.

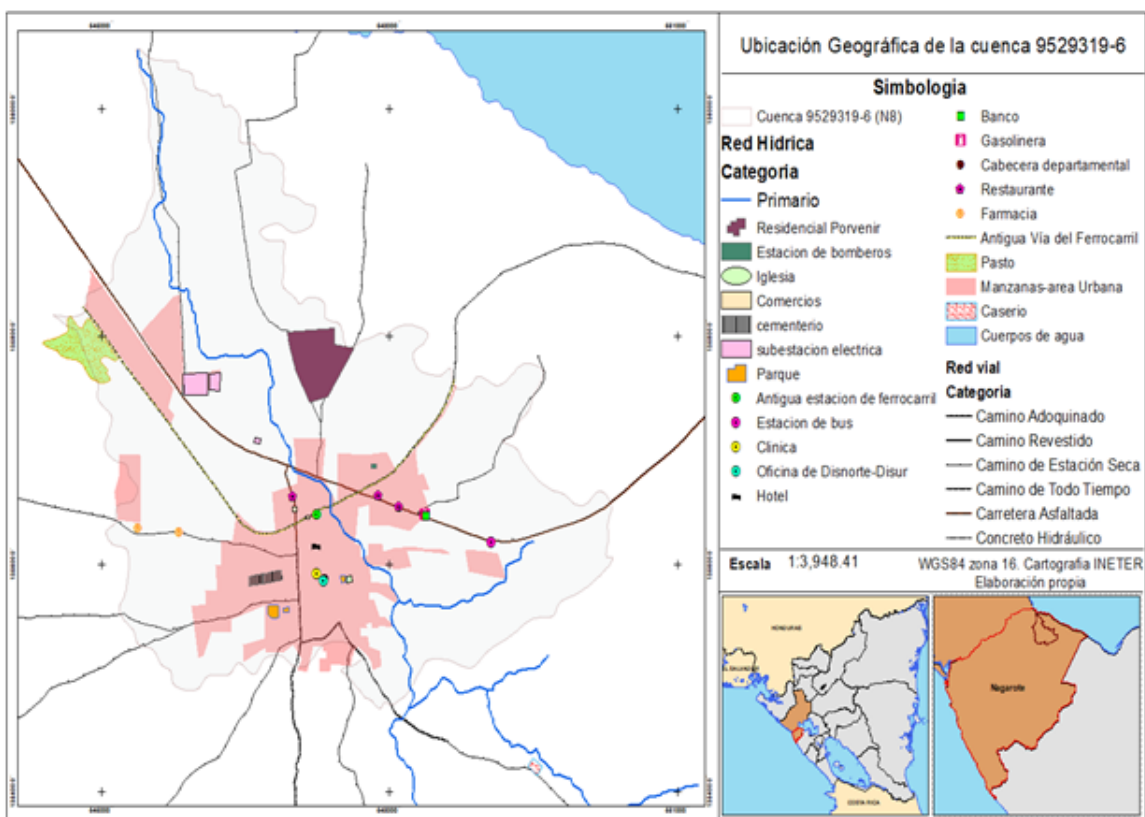


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca 9529319-6.

## Criterios de selección de participantes del estudio

Durante el proceso de la investigación no hubo interacción con personas por el enfoque de la investigación (técnico), el estudio se centra exclusivamente en datos físicos y ambientales.

### Técnicas de recolección de datos

- Revisión bibliográfica y recopilación de datos hidrológicos históricos: Se consultaron estudios previos y registros de precipitación, caudales máximos históricos y eventos de inundación previos.
- Análisis cartográfico y geoprocésamiento con SIG: Uso de bases de datos espaciales sobre uso de suelo, red hídrica y zonas urbanizadas.
- Consulta de bases de datos públicas: Se accedió a información pública de instituciones como INETER, ENACAL y SINAPRED.

### Instrumentos de recolección de datos

- Modelos de elevación digital (DEM), obtenidos de plataformas como SRTM, y datos locales provenientes del INETER.
- Mapas temáticos y cartografía oficial, información proporcionada por instituciones gubernamentales y estudios previos.
- GPS para la recolección de coordenadas geográficas
- Software SIG (Qgis) para el análisis y modelado hidrológico
- Paquete de Office (Excel y Word)

## Etapas de la investigación

Se parte de un estudio hidrológico en la cuenca, en el cual se determinan sus características físicas y morfometría.

**Etapas 1.** Se construyeron curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) para los periodos de retorno 10 y 25 años; la metodología está basada en la siguiente expresión del método propuesto por (Tirado , 2023, p 42).

$$I = \frac{P}{T_d} \text{ ecuación (01)}$$

Donde:

P = cantidad de precipitación en mm

Td = Tiempo de la tormenta en hr

Seguido de la siguiente expresión que relaciona la repetición, magnitud y persistencia:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t_c^n} \text{ ecuación (02)}$$

Donde:

I = intensidad en mm/hr

T = periodo de retorno en años

tc = tiempo de concentración en hr

K, m, n = coeficientes de ajustes estadísticos

**Etapla 2.** Se determinó el coeficiente de escorrentía a través de la siguiente ecuación y por el método propuesto por Tirado & Blandón (2023, p. 662):

$$Q = 0.278CIA \quad \text{ecuación (03)}$$

De la ecuación (03), se despeja el coeficiente de escorrentía y se obtiene la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q}{0.278IA} \quad \text{ecuación (04)}$$

Q = es el escurrimiento superficial en m<sup>3</sup>/s  
 I = es la intensidad de lluvia en mm/h  
 A = es el área de la unidad hidrológica en km<sup>2</sup>  
 C = coeficiente de escorrentía adimensional  
 0.278 = constante de conversión

Así mismo, se determinó el tiempo de concentración haciendo uso de la siguiente ecuación que es adaptada a Nicaragua después del evento meteorológico Huracán Mitch.

$$T = 0.004(3.28(\frac{Lr}{s^{0.5}})) \quad \text{ecuación (05)}$$

**Etapla 3.** Se construyeron los hidrogramas unitarios o sintético triangular. Con el tiempo de concentración encontrado, se sustituye el  $t_b$  en la ecuación 06 y se determina el caudal pico.

$$Q_p = \frac{0.555 * A}{t_b} \quad \text{ecuación (06)}$$

**Etapla 4.** A partir de los hidrogramas unitarios y haciendo uso del método Muskingum se realizó el tránsito de avenida utilizando el software HEC-HMS, obteniéndose el caudal máximo de un evento extremo (tormenta) en los periodos de retorno definidos en este estudio. Es importante destacar que el río se extiende por 16 km lineales y atraviesa varias cuencas, por lo tanto, se transitaron en la 9529319-4, **9529319-6**, 9533758-2 y 9529319-2 (ver figura 2).

**Etapla 5.** Se realizó la simulación y el análisis de inundación. Para ello, se utilizó el modelo hidrológico HEC-RAS que es un modelo de base numérica, del cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos; en la determinación de la geometría del canal se empleó la herramienta de Hec-GeoRAS. De forma general, se digitalizó el cauce principal de la cuenca a una escala de 1:3000 haciendo uso del servidor Open Street Map, posterior se trazaron los bancos (banks) del río, seguidamente se trazaron las líneas de flujo (flowpaths). Para este último paso se empleó un TIN que permite trazar el flujo con mayor precisión, ya definida la geometría se procedió a establecer las secciones transversales y exportar los datos en un formato de lectura para el software Hec-Ras.

Para el análisis de inundación se incorporaron los archivos de geometría al modelo, datos de Manning, pendiente, caudal (obtenidos en la etapa 4) y se realizó revisión general ajustando aspectos del modelo acorde al área. Luego se realizó la primera simulación, se

evaluó y revisó los resultados. Finalmente, se extrajo la información y luego se importó en un formato de lectura apropiado para Qgis; se automatizó el proceso de digitalización de la mancha de inundación y se prepararon los mapas finales y la interpretación de los resultados.



Figura 2. Tránsito de avenidas en HEC-HMS

La cuenca 6 se encuentra sujeta a eventos de inundación debido a las características geográficas y de ocupación del suelo. El análisis se efectúa a nivel de cuenca porque se consideran las unidades idóneas para el estudio de fenómenos de carácter ambiental. El modelado hidrológico con Hec-Ras es usado para flujos inestables, utiliza ecuaciones diferenciales del tipo determinístico que nos permite pronosticar la dinámica de los niveles de agua por eventos hidrometeorológicos extremos (Alcantara Boza y Castro Tenorio , 2021, p.181).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Curvas IDF

La siguiente figura muestra las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) que representan la intensidad de lluvia (en mm/min) en función del tiempo (en minutos). Las curvas están diferenciadas por colores, y cada una corresponde a diferentes períodos de retorno, indicados por las leyendas: 10, 25, 50, 100 y 500 años.

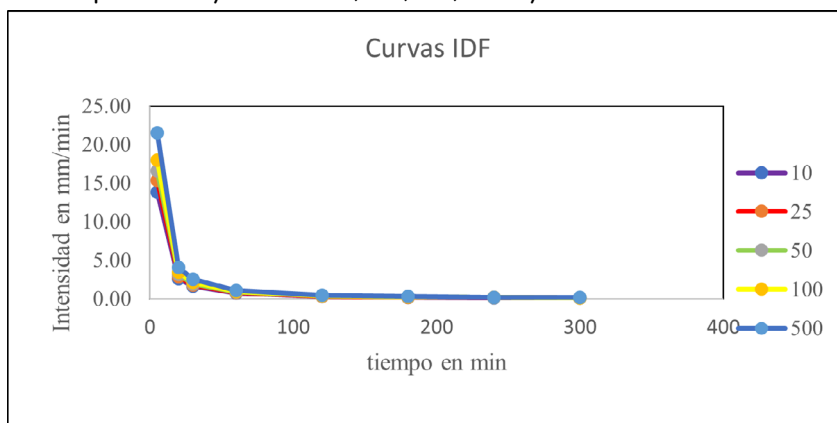


Figura 3. Curvas IDF para distintos periodos de retorno



En la figura 3, se observa una tendencia inicial en el tiempo cercano a 0 minutos, las intensidades de lluvia son más altas en todas las curvas. Esto representa lluvias intensas y de corta duración, típicas de eventos extremos a medida que el tiempo se prolonga las intensidades disminuyen rápidamente con ello las lluvias se hacen menos intensas lo cual está asociado a tormentas prolongadas. Todas las curvas siguen una forma similar, pero los valores de intensidad inicial son mayores para los periodos de retorno más largos. El periodo de retorno de 500 años (curva azul) tiene mayor intensidad inicial en comparación con el de 10 años (curva morada). Así lo explica en su estudio Marcus et al. (2019, p. 48) la intensidad decrece a mayor duración y a su vez, para cada duración, donde se verifica una mayor intensidad a mayor período de retorno.

**Coefficiente de escorrentía**

En relación con el coeficiente de escorrentía (Tabla 1), se observa que las áreas de pastos presentan un valor de 1, mientras que los centros poblados registran un coeficiente de 0.63, lo que indica que en estas zonas los procesos de escurrimiento serán más intensos, provocando un aumento del caudal. Por el contrario, en las áreas boscosas, el coeficiente de escorrentía es significativamente menor (0.007), lo que refleja una mayor infiltración y menor escurrimiento. En este sentido, Cabrera y González (2017, p. 73) señalan que, en sectores con una mayor presencia de áreas verdes, el suelo es más permeable, lo que reduce el coeficiente “C” de escorrentía. En cambio, en zonas con amplias superficies de cubierta y pavimento, el suelo es impermeable y el coeficiente “C” aumenta, lo que incrementa los caudales.

Este parámetro es fundamental, ya que permite determinar cómo el uso y la cobertura del suelo influyen en la generación de escorrentía y, en consecuencia, en el riesgo de inundación en la cuenca.

Tabla 1  
Coeficiente de escorrentía de uso de suelo según su cobertura.

ID	Categoría/Cuenca	9529319-6
1	Cultivos anuales	0.41
2	Pastos	1
3	Bosque latifoliado cerrado	0.07
4	Bosque latifoliado abierto	0.007
5	Vegetación arbustiva	0.11
6	Tacotal	0.03
7	Centros poblados	0.63
		$C_c = \frac{9.028}{I}$

**Caudales**

En la tabla 2, se muestran los caudales calculados para los periodos de retorno estudiados. Se observa que el caudal proyectado para tr (tiempo de retorno) de 10 años es equivalente a 5335.8 m<sup>3</sup>/s para un evento extremo; para 25 años se espera que ese caudal aumente

a 5869.9 m<sup>3</sup>/s. Es evidente que, a medida que aumenta el periodo de retorno, también aumenta la intensidad del evento y en consecuencia el volumen de agua transitada.

Tabla 2

Cálculo del caudal para cada Tiempo de retorno y cuenca en estudio.

Punto transitado	Caudales en m <sup>3</sup> /s	
	10 año	25 años
Punto C	5335.8 m <sup>3</sup> /s	5869.9 m <sup>3</sup> /s

### Huella de inundación

En la figura 4 y 5 se observan la distribución espacial de las zonas susceptibles a inundación. Estas zonas se extienden desde la parte alta (sur) de la cuenca hasta las zonas planas (norte) en su desembocadura al lago Xolotlán. Las láminas de agua frente a un evento extremo (tr 10 y 25 años) pueden alcanzar 01 metros de altura en el sector medio de la cuenca y las máximas láminas un nivel de 3 metros en el sector sur, específicamente en zonas de cauces naturales.

Para explicar estas zonas de riesgo a inundación se parte de que la cuenca se ubica geomorfológicamente en una zona que está conformada por angostas planicies de relieve bajo, con pequeñas ondulaciones compuesto por rocas piroclásticas de cuaternario; al igual acorde con las características física el río seco, el mismo nace a los 100 msnm y desemboca en el lago Xolotlán (cuenca endorreica) a los 40 msnm aproximadamente. Alcántara (2019, p.101), plantea que “la geomorfología entonces, como parámetro de gravedad, es un factor influyente en el escurrimiento rápido o lento del agua superficial y la infiltración”. Por su parte SINAPRED (2005) plantea que:

La amenaza de inundación por la crecida de los ríos se presenta en gran medida por precipitaciones intensas en época de invierno u otros eventos meteorológicos, los cuales encuentran características físicas-geográficas favorables en el territorio provocando desborde de los mismos. En varias ocasiones el evento que más ha afectado al municipio de Nagarote ha sido los huracanes, dejando estos cuantiosos daños. (p.30)

Se debe considerar muchos factores desencadenantes en una inundación entre ellos el cambio en la cobertura y uso de la tierra, urbanización acelerada producto del crecimiento poblacional y la demanda de vivienda; estos últimos factores en la ciudad de Nagarote han generado suelos compactos o recubiertos, que han modificado el relieve natural.

Actualmente el cauce del río presenta un uso y cobertura de la tierra que corresponde a zonas urbanizadas, pastos y suelos desnudos, todo ello asociado a las actividades antrópicas lo cual favorece los procesos de escurrimiento rápido y desbordamiento del agua. Pérez (2017) señala que las actividades humanas constituyen uno de los principales factores de erosión, ya que su impacto puede ser altamente destructivo a nivel espacial, generando alteraciones en la morfología y geometría del cauce de los ríos.

Durante un evento extremo el perfil del cauce del río puede modificarse por la fuerza del agua y erosión que la misma provoca, al igual ese material que es erosionado por el agua suele depositarse en la zona más bajas de lecho del río; lo cual disminuye la profundidad del cauce y esto a su vez disminuye la capacidad de este para transportar agua (desborde del río).

Entre los principales hallazgos de esta investigación se destaca que la velocidad del agua varía entre 0.1 y 3.9 m/s, mientras que la profundidad de la lámina de agua oscila entre 1 y 5 metros. Asimismo, la extensión de la mancha de inundación generada por el río Seco o su llanura de inundación alcanza aproximadamente 7 metros (ver Figuras 4 y 5). Estos resultados son consistentes con lo reportado por ENACAL (2019, p. 66), que identifica zonas de inundación en el municipio de Nagarote frente a eventos extraordinarios, con cotas de elevación entre 57.75 m y 65.25 m. Además, se señala que la llanura de inundación de los ríos en Nagarote, en particular la del río Obraje (río Seco), que atraviesa la ciudad, no supera los 6 metros de ancho, con niveles de agua que pueden alcanzar hasta 2 metros de altura.

De acuerdo con INETER (2005), el mapa de amenazas por deslizamientos e inundaciones clasifica el río Seco como un cauce de alta amenaza por crecidas, identificando únicamente los sitios considerados críticos. Durante la simulación para los periodos de retorno de 10 y 25 años, no se evidenció una diferencia significativa en la extensión de las áreas inundadas o en la llanura de inundación; sin embargo, sí se registraron variaciones en los volúmenes de agua asociados a cada periodo de retorno. Un comportamiento similar fue reportado por Alcántara y Castro (2021, p. 186), quienes en su estudio no identificaron grandes variaciones en la extensión de las zonas de inundación al analizar tres periodos de retorno (30, 50 y 100 años). Según sus hallazgos, esta estabilidad en la superficie inundada se debe a la mínima diferencia entre los caudales calculados para cada intervalo de retorno.

Un evento extremo, como una tormenta o huracán, generaría la huella de inundación representada en la Figura 3 y los barrios afectados junto a su población se estiman en 6,237 habitantes. Además, se afectarían infraestructura propia del municipio entre ellos: planta Che Guevara, Subestación de Nagarote, Antigua vía del ferrocarril, estación de bomberos de Nagarote, Antigua estación del ferrocarril, hotel Jerusalén, bancos y gasolineras.

A continuación, se detalla una tabla con los barrios y el total de habitantes presentes (INIDE, 2005):

Tabla 3  
Barrios y total de habitantes

No	Barrios	Total, de Habitantes
1	Guadalupe	437
2	Marvin Palacios	531
3	Pancasan	496
4	Gerónimo López 1	488
5	Gerónimo López 2	815
6	San Martín	1945
7	El Porvenir	487
8	Jenízaro	487
9	Francisco Estrada	551
10	Pochotes	No dato

Las Figuras 4 y 5 muestran áreas destacadas en círculos rojos y amarillos, que corresponden a las zonas más expuestas a inundaciones. En estos sectores se observan tirantes de agua considerables, así como velocidades que oscilan entre 20 y 39 m/s en los periodos de retorno modelados. Es importante señalar que en ciertos tramos el río logra canalizar el caudal, mientras que en otros no, generando zonas de inundación.

Este comportamiento es consistente con lo señalado por Orellana (2021, p. 87) quien plantea que, en ciudades como Piura y Castilla, las inundaciones ocurren cuando la capacidad hidráulica del río es insuficiente para evacuar el caudal generado por precipitaciones extremas en la cuenca. Además, destaca que la capacidad del río puede variar en determinados tramos debido a procesos de sedimentación y erosión, lo que afecta su capacidad de conducción.

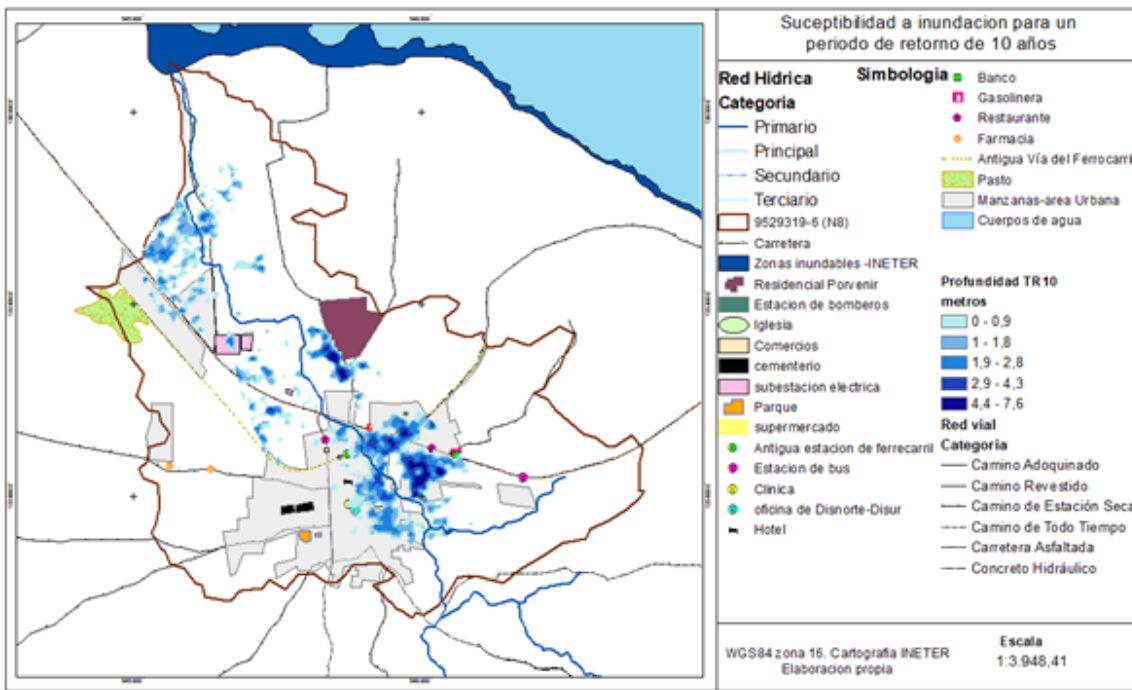


Figura 4. Zonas susceptibles y profundidad de la lámina de agua por inundación tiempo de retorno 10 años

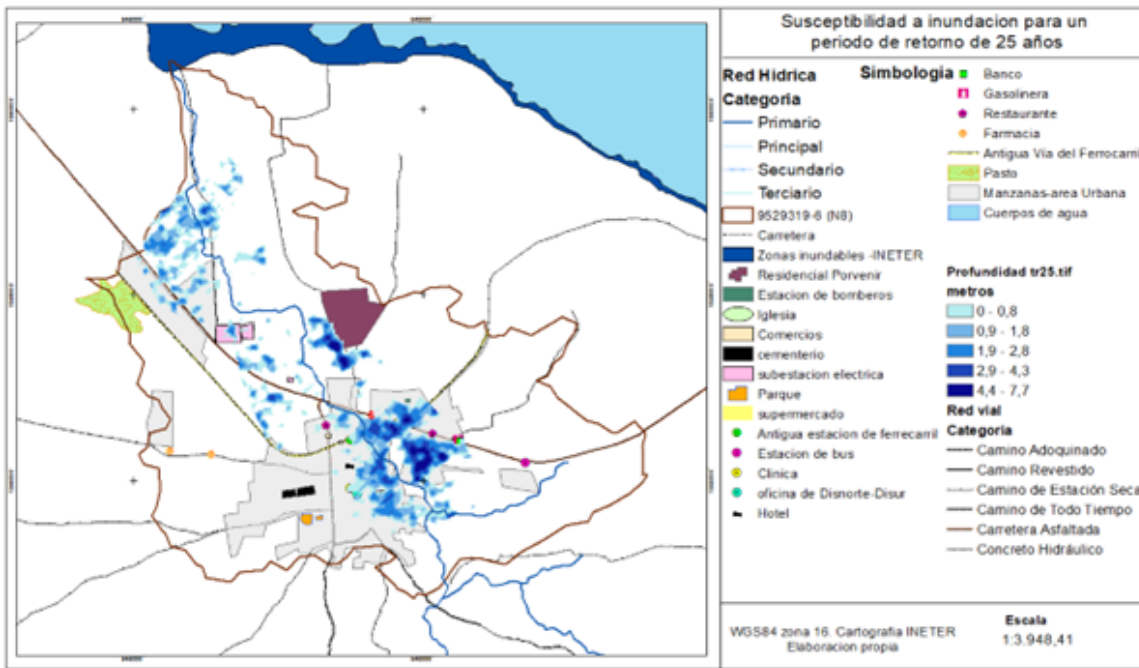


Figura 5. Zonas susceptibles y profundidad de la lámina de agua por inundación tiempo de retorno 25 años

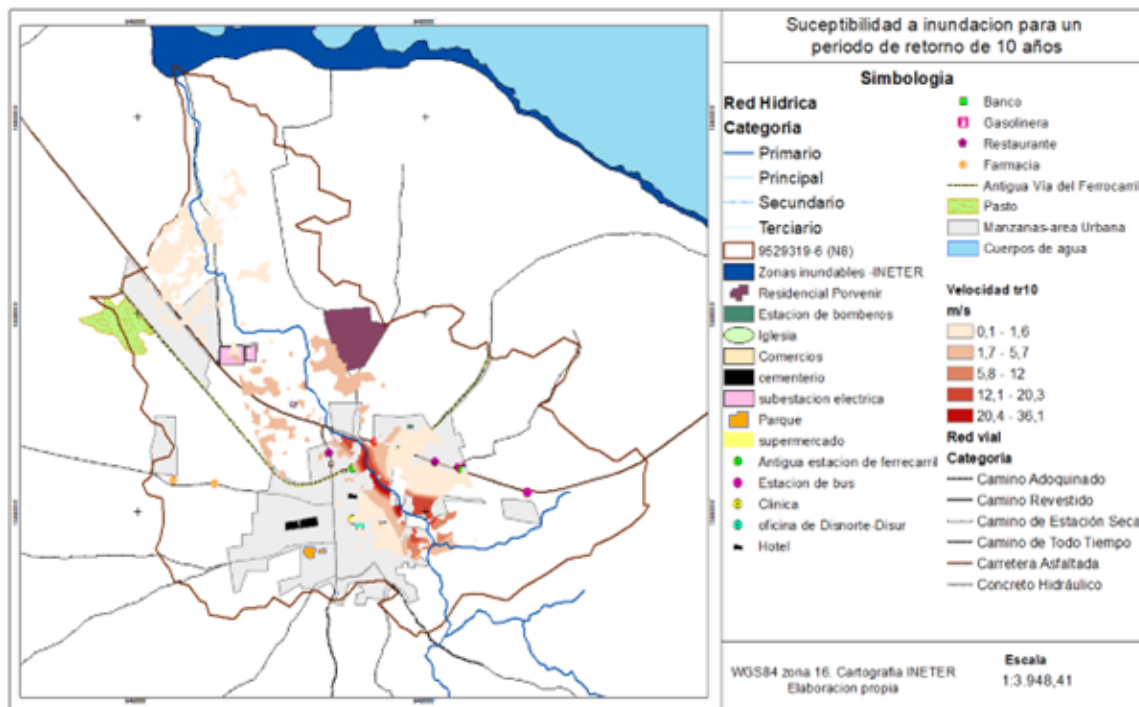


Figura 6. Zonas susceptibles a inundación y velocidad del agua tiempo de retorno 10

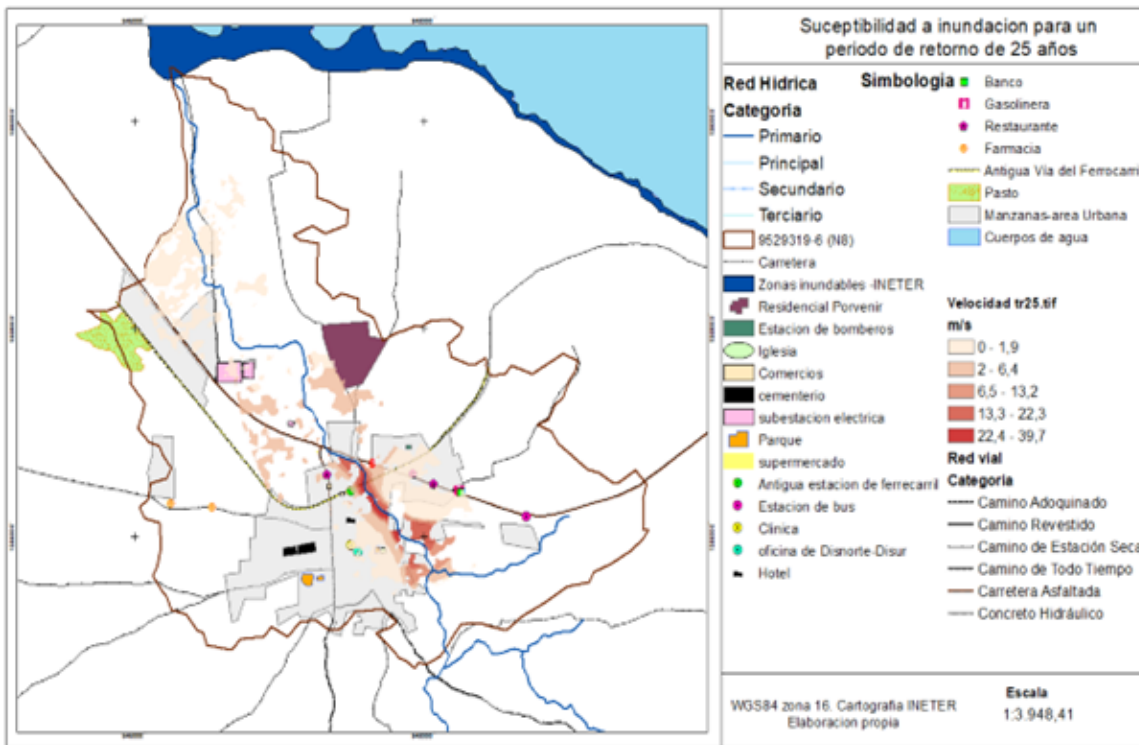


Figura 7. Zonas susceptibles a inundación y velocidad del agua tiempo de retorno 25

Las Figuras 6 y 7 muestran la velocidad del agua ante un evento extremo. La mayor velocidad se registra en la zona sur, representada en rojo intenso, y está asociada a las elevaciones del terreno y las condiciones de drenaje natural en la cabecera del río. A medida que la altitud disminuye, el agua se desplaza más lentamente, con velocidades que oscilan entre 2 y 6.4 m/s, predominando en áreas llanas. Estimar la velocidad del agua es fundamental para evaluar el impacto económico y social que implicaría la ocurrencia del evento.

Otro hallazgo relevante del estudio es la identificación de la población y barrios más vulnerables, los cuales tienen una alta probabilidad de inundación en caso de un evento extremo. Además, la determinación de la velocidad del agua es un parámetro clave para la planificación de estrategias de gestión del riesgo, en particular para la implementación de planes de evacuación prioritarios. En el municipio, los barrios más afectados por las mayores velocidades del agua son: Gerónimo López 1 y 2, Marvin Palacios, Pancasan y Francisco Estrada.

## CONCLUSIONES

La mancha de inundación simulada es un insumo para considerarse en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Nagarote ya que este estudio muestra la extensión de la mancha, la profundidad de la lámina de agua y la velocidad del flujo, factores fundamentales para la planificación y la gestión del riesgo.

Como resultado de la modelación hidrológica se obtuvieron zonas en las cuales se agrupan (velocidad del agua, profundidad, zonas habitadas, altas pendientes) creando condiciones idóneas para que exista un alto riesgo y vulnerabilidad por eventos de inundación.

La cartografía generada en este estudio es complementaria a los realizado por las instituciones INETER y SINAPRED. Con ello, los resultados se consideran una herramienta a incorporar en la elaboración de instrumentos con fines restrictivos de ocupación del suelo en zonas con riesgo a inundación en la cuenca.

Finalmente, con los resultados obtenidos se pueden considerar algunas alternativas de manejo integral o un plan de ordenamiento en la cuenca, o podrían considerarse medidas estructurales o no estructurales, presas, diques, muro de contención puntuales en las zonas más expuestas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcanta Boza , A., & Castro Tenorio , A. (2021). Determinacion de las zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la cordillera Central de los Andes. Micorucneca del río Saraus-rio La llanga. Celedin. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas , 24(48), 181-187. <https://doi.org/1561-0888>
- Alcántara , A., & Castro, A. (2021). nst. investig. Fac. minas metal. cienc. geogr., 186. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852>
- Alcantara, A. (2019). Influencia de la Geomorfología y la Meteorización en la humedad del suelo y la recarga de agua en la cabecera del río Jequetepeque. 22(43), 101. <https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=48685>
- Cabrera , C., & González , R. (2017). Estrudio para determinar el Coeficiente C de Escorrentía en la Zona Norte del Río Tomebamba. Universidad de Azuay.
- Cordero , Z. (2009). La investigacion aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. 159. <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- ENACAL. (2019). Estudio de factibilidad del sistema de alcantarillado sanitario ciudad de nagarote. Retrieved 2024, from [https://www.bcie.org/fileadmin/bcie/projects/500831/6\\_ANALISIS\\_AMBIENTAL\\_NAGAROTE.PDF.pdf](https://www.bcie.org/fileadmin/bcie/projects/500831/6_ANALISIS_AMBIENTAL_NAGAROTE.PDF.pdf)
- Fenoglio, P. (2019). Inundaciones urbanas y cambio climático : recomendaciones para la gestión. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manualinundaciones.pdf>
- FICR. (2013). Nicaragua Estudio de Caso. Cómo la Ley y la Normativa Apoyan la Reducción de Riesgo de Desastre. Retrieved 15 de Enero de 2024, from [https://www.preventionweb.net/files/globalplatform/entry\\_bg\\_paper~ifrcdlnicaraguarrdestudiocasoesp2013.pdf](https://www.preventionweb.net/files/globalplatform/entry_bg_paper~ifrcdlnicaraguarrdestudiocasoesp2013.pdf)
- INETER. (2005). Geofísica. ineter. Retrieved 2024, from Geofísica en Nicaragua: [https://web-geofisica.ineter.gob.ni/proyectos/30municipios/nagarote/mapas/Nagarote\\_Amenaza%20por%20Deslizamientos%20e%20Inundaciones\\_Escala%2050%20mil.pdf](https://web-geofisica.ineter.gob.ni/proyectos/30municipios/nagarote/mapas/Nagarote_Amenaza%20por%20Deslizamientos%20e%20Inundaciones_Escala%2050%20mil.pdf)
- INIDE. (2005). Nagarote en Cifras. Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) : <https://www.inide.gob.ni/docu/censos2005/CifrasMun/LeonTPDF/Nagarote.pdf>
- Manrique , A., Nájera, A., Escartín, C., Moreno, C., Martínez, E., Espejo, F., . . . González, S. (2017). Guía para la reducción de vulnerabilidades de los edifiuciones frente a inundaciones. Consorcio de Compensación de Seguros. [https://ebroresilience.com/wp-content/uploads/2018/12/guia\\_inundaciones\\_completa\\_22jun.pdf](https://ebroresilience.com/wp-content/uploads/2018/12/guia_inundaciones_completa_22jun.pdf)
- Marcus, R., Del valle , M., Elizalde , E., Marcor, J., & Cristina, I. (2019). Curvas de Intensidad-Duracion-Frecuencia (IDF) de las estacion meteorológica del CIM-FICH. SERIE 1986-2016. CUADERNOS DEL CURIHAM, 48. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7260055.pdf>
- Mora, W., & Ochoa , R. (2016). Modelamiento de zonas de inundación por medio de las

herramientas hec-ras, geo-ras y arcgis, para el sector comprendido entre los municipios de corrales- paz de rio a lo largo del rio chicamocha, en el departamento de boyacá. Escuela de ingeniería geologica. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1677/1/TGT-368.pdf>

Olcina, J. (2004). Riesgo de inundaciones y ordenacion del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. 50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=930085>

Orellana, R. (2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura Utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Pontificia Universidad Cattolica del Perú, 87. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18304/ORELLANA\\_CABELLO\\_RODRIGO\\_MODELAMIENTO\\_HIDROLOGICO\\_HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18304/ORELLANA_CABELLO_RODRIGO_MODELAMIENTO_HIDROLOGICO_HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Perez, J. (2017). Delimitacion de areas de inundación usando la herramienta HEC-RAS y su aplicativo S.I.G HEC-GEORAS en la Acequia las Mercedes, Valledupar. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4165>

Pesaresi , M., Ehrlich, D., Kemper , T., Siragusa, A., Florczyk, A., Freire, S., & Corbance , C. (2017). Atlas of the Human Planet 2017. JRC Science Hub. <https://doi.org/10.2760/19837>

SINAPRED. (2005). Plan de Gestion de riesgo Nagarote. SINAPRED. <https://web-geofisica.ineter.gob.ni/proyectos/30municipios/nagarote/informes/NiR%20D%20POT%20Nagarote%2020051121.pdf>

SINAPRED. (2005). Plan de Ordenamiento Territorial Municipal en Funcion de las Amenazas Naturales. Retrieved 15 de 01 de 2024, from <https://165.98.224.55/geofisica/proyectos/30municipios/nagarote/informes/NiR%20D%20POT%20Nagarote%2020051121.pdf>

SINAPRED. (2005). Reporte sobre las Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos ante Inundaciones, Deslizamientos, Actividad Volcanica y Sismos. INETER. <https://web-geofisica.ineter.gob.ni/proyectos/30municipios/nagarote/informes/NiR%20D%20RA%20Nagarote%2020051118%20MG.pdf>

Tirado , V. (2023). Comparación de la curva Repetición, Magnitud y Persistencia de una estación hidrometeorológica con la base de datos climáticos globales de WorldClim. iYA, 42. <https://portalderevistas.uam.edu.ni/index.php/iyA/article/download/102/90/182>

Tirado , V., & Blandón, L. (2023). Methodology for the Calculation of the Runoff Coefficient with the Arrangement Tirado. Scientific Research Publishing Inc, 659-671. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.135052>.

## ANEXOS

Anexo 1: se muestran los parámetros morfométricos calculados previos al estudio de inundación.

Parámetros	Cuenca nivel 8 9529319-6
Área (km <sup>2</sup> )	16.3773
Perímetro (km)	23.889
H (min) (m)	47
H (Max)(m)	97
Longitud axial (km)	6.318
Pendiente (%)	0.791



Compacidad de Gravelius $K_c$	1.65
Factor de Forma $K_f$	0.41
Longitud del río principal (km)	7.82 Río Seco
Longitud total de curso de ríos (km)	9.5
Dd (km/km <sup>2</sup> )	0.477
Tiempo de concentración (min)	65.61

Anexo 2: Base de datos de precipitación de la estación de León datos usados para generar las curvas IDF con variante RPM.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Máximo
2013	0.3	0.0	0.0	1.6	123.8	132.6	116.0	226.9	449.7	250.6	120.1	0.4	449.70
2014	1.6	0.8	0.0	0.0	142.2	88.5	10.3	211.6	431.5	417.7	46.5	0.0	431.50
2015	0.6	0.0	0.0	0.3	17.0	238.9	39.8	61.6	100.7	260.2	157.0	0.0	260.20
2016	0.0	0.6	0.0	34.2	218.3	125.5	75.8	187.6	164.2	358.5	119.6	4.6	358.50
2017	8.7	0.0	0.0	23.7	220.5	287.6	106.5	158.8	225.3	548.8	51.2	2.5	548.80
2018	0.0	0.0	0.0	3.2	329.7	137.1	30.6	27.3	277.7	633.3	58.8	0.2	633.30
2019	0.0	0.0	0.0	2.3	347.9	103.8	18.0	27.3	294.2	416.3	66.1	0.3	416.30
2020	0.4	3.2	0.0	0.0	367.3	183.4	83.3	372.8	248.4	297.5	282.6	1.3	372.80
2021	0.0	0.1	0.0	25.2	17.4	183.3	120.5	372.4	342.8	132.5	82.6	2.5	372.40
2022	0.0	0.0	0.0	9.7	453.8	586.7	101.4	175.6	451.4	406.5	140.1	16.6	586.70
2023	1.4	0.0	2.6	0.0	45.8	296.2	142.1	229.3	191.6	414.4	177.1	142.1	414.40

Anexo 3: Volúmenes transitados en el punto C

**Summary Results for Junction "P-C"**

Project: Proyecto Ngarote    Simulation Run: Run Tr=10años  
Junction: P-C

Start of Run: 24feb.2024, 00:00    Basin Model: 9529319  
End of Run: 25feb.2024, 20:00    Meteorologic Model: Tr = 10 años  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE    Control Specifications: Control-1

Volume Units:  MM     1000 M3

**Computed Results**

Peak Discharge: 5335.8 (M3/S)    Date/Time of Peak Discharge: 24feb.2024, 14:00  
Volume: 4702.99 (MM)

**Summary Results for Junction "P-C"**

Project: Proyecto Ngarote    Simulation Run: Run Tr=25años  
Junction: P-C

Start of Run: 24feb.2024, 00:00    Basin Model: 9529319  
End of Run: 25feb.2024, 20:00    Meteorologic Model: Tr = 25 años  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE    Control Specifications: Control-1

Volume Units:  MM     1000 M3

**Computed Results**

Peak Discharge: 5869.6 (M3/S)    Date/Time of Peak Discharge: 24feb.2024, 14:00  
Volume: 4964.98 (MM)