

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD, CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO DE ALMEIDA
(BOYACÁ)



AUTOR

Héctor Alonso Gómez Sandoval

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERIA CIVIL

Director:

GIOVANNI ANTONIO ROYERO OROZCO, Ph.D

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, 13 OCTUBRE 2021

TABLA DE CONTENIDO

I. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	7
¿Cuál es la importancia de un estudio de inundabilidad?	7
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
III. JUSTIFICACIÓN	9
IV. OBJETIVOS	10
<i>A. Objetivo General</i>	10
<i>B. Objetivos Específicos</i>	10
V. MARCO REFERENCIAL	11
VI. DISEÑO METODOLÓGICO	14
<i>A. Caracterización del área de estudio</i>	14
1) Localización.....	14
2) Reseña Histórica.	14
<i>B. Límites del municipio</i>	15
<i>C. Forma de la cuenca</i>	16
<i>D. Límite de la cuenca</i>	16
<i>E. Características de la cuenca</i>	17
<i>F. Área de la cuenca.</i>	17
<i>G. Perímetro.</i>	18
<i>H. Longitud axial del cauce (lt).</i>	18
<i>I. Ancho de la cuenca (b).</i>	18
<i>J. Factor de forma de Horton (f).</i>	19
<i>K. Índice de alargamiento (ia).</i>	19
<i>L. Altura media del cauce principal (HCAUCE).</i>	20
<i>M. Pendiente del cauce principal (ICAUCE).</i>	20

<i>N. Climatología del Municipio</i>	<i>21</i>
<i>O. Información Recolectada</i>	<i>24</i>
<i>P. Precipitación total.</i>	<i>25</i>
<i>Q. Análisis hidrológico de la zona de estudio</i>	<i>26</i>
<i>1) Complementar Datos.....</i>	<i>27</i>
<i>2) Caudales Máximos.</i>	<i>27</i>
<i>3) Método lluvia-escorrentía- Soil Conservation Service (SCS)</i>	<i>28</i>
<i>a) Curva número</i>	<i>28</i>
<i>R. Área de drenaje</i>	<i>30</i>
<i>S. Tiempos de concentración (T_c)</i>	<i>31</i>
<i>T. Curvas sintéticas IDF</i>	<i>33</i>
<i>U. Usos del suelo del municipio de Almeida</i>	<i>35</i>
<i>V. Cálculo de Caudales.....</i>	<i>37</i>
<i>W. Desarrollo del Proyecto</i>	<i>37</i>
<i>X. localizar la zona en google earth pro.....</i>	<i>37</i>
<i>Y. Delimitación de zona</i>	<i>38</i>
<i>Z. Global Mapper.....</i>	<i>38</i>
<i>AA. ArcMap.....</i>	<i>40</i>
<i>BB. Iber</i>	<i>44</i>
VII. RESULTADOS	53
<i>A. Modelización Hidrodinámica en Iber</i>	<i>53</i>
<i>1) Tiempo de Retorno de 20 Años.....</i>	<i>53</i>
<i>2) Tiempo de Retorno de 50 Años.....</i>	<i>56</i>
<i>3) Tiempo de Retorno de 100 Años.....</i>	<i>58</i>
VIII. CONCLUSIONES	60

REFERENCIAS.....	62
------------------	----

LISTA DE TABLAS

TABLA I. ÁREA POR VEREDAS DEL MUNICIPIO DE ALMEIDA	16
TABLA II. RESULTADOS DE LAS CARACTERISTICAS DE LA CUENCA	21
TABLA III. ESTACIONES DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
TABLA IV. SUPERFICIE DE LA CUENCA	31
TABLA V. PROMEDIO TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	33
TABLA VI. VALORES DE LOS COEFICIENTES a, b, c, d , PARA EL CÁLCULO . DE LA INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACIÓN (IDF) EN COLOMBIA.....	33
TABLA VII. PROYECTO FINAL LA REGIÓN A LA CUAL PERTENECE ES LA REGIÓN ANDINA R1	34
TABLA VIII. PRECIPITACIÓN 24 HORAS PROMEDIO MULTIANUAL: 26.7 MM	34
TABLA IX. CALCULO DEL CAUDAL, CON UN TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE 47.82 MINUTOS	37

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Distribución espacial de las estaciones.....	24
Fig. 2. Datos Estación.	25
Fig. 3. Valores máximos, medios y mínimos mensuales de precipitación	26
Fig. 4. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana	30
Fig. 5. Regiones en Colombia, en donde se definen los parámetros a,b,c,d	34
Fig. 6. Curvas IFD, estación Martota.....	35
Fig. 7. Uso actual del suelo y cobertura municipio de Almeida	36
Fig. 8. Coeficientes de Escorrentía	36
Fig. 9. Análisis de Velocidad.....	53
Fig. 10. Análisis de Calado	54
Fig. 11. Criterio para la delimitación de la zona de inundación peligrosa, según Témez (1992). 55	
Fig. 12.Criterio propuesto para la delimitación de la zona de inundación peligrosa, según Nanía (1992).....	55
Fig. 13. Análisis de Velocidad.....	56
Fig. 14. Análisis de Calado	57
Fig. 15. Análisis de Velocidad.....	58
Fig. 16. Análisis de Calado	59

I. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es importante un estudio de inundabilidad?

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El esquema de ordenamiento del municipio de Almeida, no cuenta con suficiente información para realizar el seguimiento de los fenómenos naturales, como las crecientes súbitas de las fuentes hídricas en las diferentes épocas del año, por lo cual la administración municipal no tiene los mecanismos para dar resolución con respecto a la gestión del riesgo y los problemas asociados a dichos fenómenos, donde las inundaciones presentan uno de los mayores peligros en cuanto a la sustentabilidad debido a la riqueza hídrica del departamento.

En este sentido, el departamento de Boyacá se ha enfrentado históricamente a fenómenos climáticos tal como el denominado “Niña” presentado en los últimos años, el cual ha ocasionado una serie de eventos naturales debido a las prolongadas y altas precipitaciones generando deslizamientos, movimientos de masas, aumento considerable de la escorrentía y aumento desproporcionado de las corrientes hídricas.

A su vez, El departamento de Boyacá se caracteriza por ser una zona de altas pluviosidades lo que conlleva a aumentar las probabilidades por inundación, como es el caso del municipio de Almeida debido al aumento de los caudales de las corrientes hídricas aledañas al municipio (Quebrada pantanos y Quebrada Hoyada), para lo cual es importante contar con un modelo de inundabilidad, centrado en la necesidad de la predicción del riesgo, asociado a la amenaza producida por las precipitaciones extremas, para de esta manera tener una guía que servirá de instrumento para la planeación urbana, con el fin de que se pueda generar de manera organizada la expansión del casco urbano, garantizando condiciones seguras en la distribución de los futuros asentamientos urbanos.

III. JUSTIFICACIÓN

Debido al vertiginoso aumento de las precipitaciones en los últimos años, la toma de decisiones requiere herramientas metodológicas, con el fin de mitigar los riesgos por inundación que causen afectaciones sobre las vidas humanas y la infraestructura: Las inundaciones en las zonas urbanas se caracterizan por un alto grado de peligrosidad por causas de los calados y velocidades altas presentados en estos eventos, en este sentido cada administración pública tiene el deber de fijar un nivel de seguridad en las calles, basados en un determinado tiempo de retorno, en el cual se fijen los máximos valores de velocidad y calados. Como consecuencia, son frecuentes los problemas en los ambientes urbanos, con daños y prejuicios sobre el medio socio-económico, por inundaciones de viviendas e infraestructura, deterioro de la calidad de vida e incluso (en situaciones no extraordinarias) pérdidas de vidas humanas.

De lo expuesto previamente, el caso de estudio tiene una relevancia gubernamental y social, ya que permitirá obtener a través de la evaluación de las amenazas de inundabilidad, una metodología confiable que ayude en la toma de decisiones y la gestión del riesgo, toda vez que los resultados obtenidos están encaminados en evitar que las personas e infraestructura, puedan causar afectaciones irremediables por un evento de inundabilidad debido a las altas precipitaciones que se pueden presentar en la zona de estudio.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Evaluar las amenazas de inundabilidad para tiempos de retorno de 20, 50 y 100 años que se podría presentar en el municipio de Almeida, Boyacá.

B. Objetivos Específicos

- Realizar la búsqueda de información básica necesaria para la determinación de la amenaza de inundabilidad en la zona de estudio.
- Determinar las curvas de Intensidad, Frecuencia, Duración (IDF) y el caudal máximo, en el área de estudio, para los tiempos de retorno de 20, 50 y 100 años.
- Ejecutar el estudio hidráulico de la zona de estudio mediante el uso de software libre.

V. MARCO REFERENCIAL

De acuerdo con la posición geográfica de Colombia, ubicado al norte de sur América se presentan gran variedad de bosques, flujos de aire y suelos que determinan la complejidad de las condiciones hidrológicas y meteorológicas. Teniendo en cuenta las leyes y decretos dispuestos por el estado colombiano, persisten los asentamientos humanos y la dinámica comercial sobre zonas de alta inundabilidad, lo que ha conllevado a tragedias de gran magnitud que no solo afecta la economía de la zona, sino que conlleva a desastres causados por la inconsciencia de los pobladores que deciden vivir en estas zonas de alta peligrosidad. En los últimos años la climatología en Colombia ha variado presentando precipitaciones que nunca antes se habían registrado, como lo ocurrido en la ola invernal de los años, 2010 y 2011, denominado como el fenómeno climático de la niña, lo que causo desastres naturales a lo largo de todo el país, debido a las inundaciones, avalanchas y remociones en masa, estos fenómenos en el país son explicados debido a la variabilidad climatológica, causado por sequías extremas y precipitaciones extraordinarias, con efectos negativos sobre el país. [1]

A nivel regional, las causas de desastres naturales están dadas por las problemáticas ambientales, debido a las deforestaciones máximas, invasiones sobre las riveras de los ríos, el sobre pastoreo, la minería y otras actividades sobre las llanuras de inundación, movimientos de tierras, malos manejos de aguas lluvias y aguas residuales, entre otros. [2]

En un orden específico de pensamientos, la visualización numérica en cualquier fuente de agua, puede anticipar las cualidades introducidas en los factores de variables hidráulicas (láminas de agua, velocidades, corriente, entre otros), abordando técnicas matemáticas para las condiciones relativas a las teorías, como se indica en este para la investigación de las inundaciones en las fuentes de agua puede ser utilizado modelos unidimensionales o bidimensionales. En este sentido, Iber es un software numérico en dos direcciones para la recreación de corrientes en fuentes de agua creado por el grupo GEAGUA (Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad de Coruña), Grupo de Ingeniería Matemática (Universidad de Santiago de Compostela), Instituto Flumen (Universidad Politécnica de Cataluña) y avanzado por el CEDEX (Centro de Estudios Hidrográficos). El módulo Iber se compone de varios módulos (Hidrodinámica, Turbulencia y Transporte de Sedimentos), este producto es de uso libre, que tiene soporte en discusiones de

conversación y clases de instrucción. El módulo creado para este punto de estudio de la situación es el hidrodinámico que fomenta las condiciones bidimensionales de San Venant. [3]

Las cuencas hidrográficas presentan dos acciones principales (aprovechamiento de los recursos naturales (usarlos, transformarlos y consumirlos), manejarlos (conservarlos, recuperarlos y protegerlos)), para la conservación con el fin de evitar procesos consecutivos de deterioro que pueden aumentar el riesgo por inundaciones, el transporte desmedido de sedimentos y causas catastróficas sobre centros poblados, las intervenciones sobre las cuencas son indebidas deteriorando las fuentes hídricas y los recursos naturales, que debe estar encaminado en primera medida en la seguridad de las poblaciones aguas abajo, tanto rurales como urbanas. [4]

La gestión de Riesgo es de interés como acción para asegurar la administración del país en circunstancias de crisis, para hacer actividades para aliviar el peligro de este tipo de ocasiones y respaldar las redes influenciadas. Colombia ha experimentado ocasiones escandalosas que han afectado inequívocamente a la población, incluyendo temblores, erupciones volcánicas, avalanchas, tormentas tropicales, crisis invernales y crecidas de arroyos que han traído ocasiones de inundación de increíble magnitud. A raíz de estas ocasiones introducidas en el dominio público, se creó el consejo de riesgos de catástrofes, centrado en el detalle, el cumplimiento, la búsqueda y la valoración de disposiciones, procedimientos, planes, programas, directrices, instrumentos, medidas y actividades que deben llevarse a cabo para siempre para disminuir los peligros relacionados con las ocasiones escandalosas y añadir al bienestar, la prosperidad y la satisfacción personal de los individuos. [5]

La morfometría o características físicas (geología, cobertura vegetal, topografía, clima) de los drenajes de las cuencas representan, la probabilidad de agua superficial sobre esta, estableciendo así el régimen de los ríos. Un análisis de la conceptualización de las cuencas permite demostrar y pronosticar la forma en que la cuenca se comporta hidrológicamente teniendo en cuenta la torrencialidad de la misma; este comportamiento se analiza mediante los índices morfométricos (red de drenaje, forma y relieve). [6]

La forma de las cuencas es un determinante en el caudal que esta lleva, en particular en las avenidas máximas que se pueden presentar, para cuencas de igual superficie, pero de diferente

representación, es por esto que al no existir datos en una cuenca o no poder obtener las particularidades pluviométricas de la franja de estudio es posible probabilísticamente, obtener de una cuenca similar dichos parámetros, que pueden llevar a determinar el comportamiento hidrológico de esta cuenca. [7]

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

Del presente estudio de investigación, se pretende ejecutar el análisis hidráulico de un tramo de la quebrada que se forma en época de invierno y que podría traer consigo inundabilidades y posibles afectaciones que se pudieren llegar a provocar debido a las fuertes lluvias o eventos extremos, que causen afectaciones sobre las vidas humanas y la infraestructura de la zona analizada en este caso el municipio de Almeida en el departamento de Boyacá.

De acuerdo con los registros históricos consultados, se han presentado amenazas por inundación y deslizamientos en la zona urbana debido a los aumentos súbitos de caudal de la quebrada “ancha”, en el sector oriental de la cabecera municipal.

A. Caracterización del área de estudio

1) Localización.

El municipio de Almeida hace parte de la provincia Oriente de Boyacá y se encuentra localizado en la parte centro oriental del País y sur occidente del departamento de Boyacá, la cabecera municipal está a 1925 metros sobre el nivel del mar, a 142 Km de Bogotá y 142 Km de Tunja, abarca una extensión de 57.98 km² y presenta una temperatura media de 15.4°C y 17.3°C.

2) Reseña Histórica.

El Municipio de Almeida fue fundado en una vereda denominada Yavir, jurisdicción del Municipio de Somondoco, comprensión eclesiástica de la Diócesis (Tierras Donadas por el Señor Adolfo Perilla a la Parroquia) sucedió el 26 de abril de 1889, tomando el nombre de LA SANTÍSIMA TRINIDAD en honor a los tres Obispos nacidos en la Región, son ellos los ilustrísimos Señores CEVERO GARCÍA, BENIGNO PERILLA Y MONSEÑOR INDALENCIO BARRETO. Tiempo después fue cambiado por el nombre actual ALMEIDA, esto se hizo en honor a los Hermanos Almeida, próceres que lucharon en la Batalla de Boyacá, por los Departamentos de Casanare y

Boyacá, este cambio se realizó por evitar una Confusión con otra Población que tenía el mismo Nombre. [8]

B. Límites del municipio

Al Norte limita con los municipios de Garagoa y Macanal (Boyacá).

Por el Sur con los municipios de Chivor y Guayata (Boyacá).

Por el oriente con los municipios de Macanal y Chivor (Boyacá).

Por el occidente con el municipio de Somondoco (Boyacá).

Latitud Norte 4° 58'15".

Latitud Oeste 73°22'43.80".

El sector rural del municipio está conformado por nueve (9) veredas que corresponden al 99.78% de la superficie del municipio con 57.85 Km² y el sector urbano con una extensión de 0.13 km² equivalente al 0.22%.

La división territorial del municipio de Almeida, antes de 1990, estaba conformada por las veredas Alimento, Belén, Camoyo, Chivor, Curiavaca Arriba, Curivaca Abajo, Gualí, Molinos, Pino, Rosal, Sinaí, Tona, Tibaita, Umbavita y Yavir. Con la Ordenanza No. 023 de diciembre 12 de 1990, la Asamblea Departamental de Boyacá crea al municipio de Chivor y le son segregadas al municipio de Almeida las veredas de: Alimento, Camoyo, Chivor, Gualí, el Pino, y el Sinaí, quedando en consecuencia el municipio de Almeida conformado por nueve (9) veredas que son: Tibaita, Umbavita, Belén, Tona, Yavir, Curiavaca Arriba, Curiavaca Abajo, Rosal y Molinos. A continuación, se presentan las veredas que conforman al Municipio de Almeida:

TABLA I. ÁREA POR VEREDAS DEL MUNICIPIO DE ALMEIDA

N°	VEREDAS	EXTENSION Km2	% SUPERFICIE MUNICIPAL
1	Tibaita	1.68	2.9
2	Umbavita	2.63	4.5
3	Yavir	5.58	9.6
4	Tona	7.72	13.3
5	Rosal	12.58	21.7
6	Molinos	16.73	28.9
7	Curivaca Arriba	7.03	12.1
8	Curivaca Abajo	2.08	3.6
	Belén	1.82	3.1
9	Zona Urbana	0.13	0.22
	TOTAL	57.98	100

Nota: Plan de Desarrollo 2016-2019, Municipio Almeida

C. Forma de la cuenca

El funcionamiento de una cuenca hidrográfica es como el de un colector que recibe las precipitaciones y las convierte en desbordamiento superficial o subsuperficial; este cambio depende de las condiciones climáticas y de las cualidades reales de la cuenca. Estas cualidades reales se agrupan en dos tipos según su efecto sobre la infiltración: las que condicionan el volumen del desbordamiento, como la región y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de reacción, como la solitud de corriente, la inclinación y el área transversal.

Los atributos reales de una cuenca se identifican firmemente con la conducta de los caudales que la atraviesan. Los límites morfométricos de una cuenca incorporan un conjunto de evaluaciones realizadas, la mayoría de las veces, hacia el inicio de un estudio hidrológico, con fines de mejora o control. [9].

D. Límite de la cuenca

Mediante la aplicación del software ArcGIS, se realiza la delimitación correcta de la cuenca, mediante el uso de modelos digitales de elevación DEM, correspondientes a las descargas y transformación de las curvas de nivel extraídas de google earth, el cual se convirtió en un insumo confiable, partiendo de estos datos, se utiliza las herramientas hidrológicas del ArcGIS a partir del punto de interés con el fin obtener la demarcación de la zona de estudio.

E. Características de la cuenca

Tal vez la principal herramienta de la conducta hidrológica es la representación real de la cuenca a través de los valores morfométricos habituales, que es extremadamente útil en la medida en que permite la revisión, determinando las inundaciones en caso de una tempestad de acuerdo con la forma de la cuenca, el tipo de relieve y la disposición de evacuación de la cuenca, la gran mayoría de estos límites morfométricos actúan mediante la expansión del volumen de la corriente y la velocidad de desarrollo en las cuencas. [10]

En los modelos de inundabilidad se busca determinar la ocurrencia de fenómenos que puedan causar afectaciones en zonas que son sensibles a crecidas, debido a las formas de las cuencas, la cobertura vegetal, el caudal de ingreso sobre la zona urbana, el tipo de material de las calles y las rejillas de captación que se tengan sobre la misma con el fin de evitar consecuencias materiales y la pérdida de vidas humanas.

F. Área de la cuenca.

La conceptualización del área de la cuenca se define como la proyección uniforme de toda la superficie de evacuación de un marco de vertido coordinado directamente o de forma indirecta a un canal regular similar. Se compara con el espacio delimitado por la cuenca hidrográfica de la región de revisión; este límite se comunica ordinariamente en km². Este valor es de extrema importancia porque un error en su estimación influye directamente en los resultados, por lo que es importante realizar estimaciones diferenciadas para tener plena confianza en este valor. [9]

La cuenca cuenta con un área de 4.61 Km², y es una unidad, pues cuenta con un área menor a 5 Km².

G. Perímetro.

Es la longitud en un plano, que recorre como se divide la cuenca. Este límite se estima en unidades de longitud (metros, kilómetros), se puede obtener mediante softwares como CAD y/o GIS, esta determinación define la forma de la cuenca. [9]

La cuenca tiene un perímetro de 11.46 km.

H. Longitud axial del cauce (lt).

Está definida como la distancia axial desde el punto en donde se empieza a formar el cauce, hasta el punto de interés de evaluación, donde se corten las líneas de contorno de la cuenca, con estos datos podemos calcular la sinuosidad de la cuenca, en el cual se divide la distancia total de la cuenca entre el recorrido de la corriente, y de esta manera se puede determinar si una corriente es considerada como meándrica y cuenta con mayor tiempo de retención, esto se determina de acuerdo con la aplicación de la formula, en la que se infiere que corrientes con índices de sinuosidad mayores a 1.5 son meándricas. [9]

$$K_s = \frac{L_t}{L_l}$$

La longitud axial del cauce es de 4.85 km.

I. Ancho de la cuenca (b).

Esta determinado por la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial. [9]

$$B = \frac{A}{L_t}$$

La cuenca tiene un ancho de 1.0 km respectivamente.

J. Factor de forma de Horton (f).

Intenta cuantificar lo cuadrada (prolongada) que puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo es menos propensa a las inundaciones que una de una región similar y con un factor de forma más alto. Fundamentalmente, los elementos topográficos son responsables de moldear la geografía de un distrito y el estado de las cuencas hidrográficas. Una estimación de Kf más notable que la solidaridad da el nivel de suavidad del cauce o de una corriente de principio corta y, por tanto, con una inclinación a concentrar el derrame de las precipitaciones graves, enmarcando eficazmente las grandes inundaciones. [9]

$$F = \frac{A}{L_t^2}$$

El factor de forma para la cuenca es de 0.20.

K. Índice de alargamiento (ia).

Índice determinado por Horton, en el cual la relación de la longitud axial y el ancho perpendicular de la cuenca, con un índice cercano a uno, se determina que la cuenca es poco alargada y su drenaje esta dispuesto en forma de abanico, y confluir cerca una de la otra y el cauce es corto, si en cambio la cuenca tiene valores superiores a la unidad se infiere que esta es rectangular y su cauce es largo. [11]

$$IA = \frac{L_t}{B}$$

Índice de alargamiento de 4.76; lo que de acuerdo con la definición anterior la clasifica como alargada.

L. Altura media del cauce principal (HCAUCE).

El cálculo de altura media del cauce está determinado por el promedio utilizado en el perfil longitudinal del cauce principal. La variedad altitudinal de la cuenca de un arroyo influye en su difusión cálida y, por tanto, en la presencia de microclimas y espacios vitales extremadamente característicos, tal y como indican las condiciones generales cercanas. Comprende un estándar de la variedad regional de desbordamiento que se produce a causa de un distrito, que da una premisa para describir sus zonas climatológicas y biológicas.

$$H_{\text{cauce}} = H_1 f_1 + H_2 f_2 + \dots + H_n f_n$$

Donde:

H_i = está determinado por la altura de la mitad del cauce.

F_i = frecuencia del intervalo.

La altura promedio del cauce principal es de 2619.4 msnm.

M. Pendiente del cauce principal (ICAUCE).

Para el cálculo de la pendiente media del cauce se determina, la relación entre el desnivel de la cota más alta del río, la cota más baja y la longitud del cauce. Para el cálculo de la pendiente se debe realizar una diferencia entre la inclinación promedio y la ponderada. La inclinación promedio está determinada por el cociente entre la caída de alturas ΔH sobre la longitud del tramo ΔL . [12].

$$I_{\text{cauce}} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

En corrientes en que las pendientes tienen cambios variables se calcula el promedio ponderado.

$$I_{\text{cauce}} = I_1 f_1 + I_2 f_2 + \dots + I_n f_n$$

Donde:

I_i = pendiente media de la clase,

F_i = frecuencia del intervalo evaluado.

La pendiente es de 12.08 %.

TABLA II. RESULTADOS DE LAS CARACTERISTICAS DE LA CUENCA

PARAMETRO	UNIDAD	CUENCA
		QUEBRADA PANTANOS
Superficie de la cuenca	km ²	4,61
Perímetro de la cuenca	km	11,46
Longitud de la cuenca	km	4,52
Longitud axial del Cauce Principal	km	4,85
Ancho promedio de la cuenca	km	1,0
Factor de Forma	Adimensional	0,20
Coefficiente compacidad	Adimensional	1,49
Altura iniciando el cauce principal	m.s.n.m	2912
Altura terminando el cauce principal	m.s.n.m	2326,7
Pendiente del cauce principal	%	12,08%
Pendiente media de la cuenca	%	22,23%
Longitud total de drenaje	km	18,14
Densidad de drenaje	km/km ²	3,94
Tiempo concentración promedio	minutos	47,81
Tiempo de concentración	minutos	28,69
Curva Numero (CN)	Adimensional	63
Promedio de la elevación	m.s.n.m	2706,8
Abstracción Inicial	Adimensional	29,83

Nota: Elaboración propia (2021)

N. Climatología del Municipio

Las caracterizaciones hereditarias del medio ambiente, utilizadas en curso desde hace mucho tiempo por Flohn (1968) y Strahler (1968), dependen de la caracterización de los diversos

ambientes, con acentuación subrayando el retrato de los diseños del curso general. Strahler (1975), insiste en que hay cinco bases reales para ordenar los diversos ambientes de la tierra. La primera de ellas es la radiación neta, que es un elemento del alcance y la longitud. es un componente del alcance y la variedad en la inclinación del eje del mundo durante el año. [13]

Para determinar las estaciones generales de influencia del proyecto, con el objeto de seleccionar las estaciones de precipitación más cercana, se utilizó el catálogo de estaciones de IDEAM, las cuales se relacionan en la siguiente tabla:

TABLA III. ESTACIONES DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

CODIGO	ESTACION	CORRIENTE	MUNICIPIO	ENTIDAD	TIPO
35070320	Martota	Qda Cuya	Somondoco	IDEAM	PM

Nota: Elaboración propia (2021)

Las estaciones climáticas son un dispositivo mecánico que nos permite examinar y hacer movimientos preventivos viendo las variedades de elementos como la temperatura, la precipitación, la velocidad del viento, entre otros, que son todos vitales para las redes, las empresas y las áreas en la nación y el mundo. [14]

A continuación, se detallan los tipos de estaciones meteorológicas en función] de las medidas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. [16]

- Estación Pluviométrica (PM): Se trata de una estación climática dotada de un control de aguaceros o compartimento que permite cuantificar la medida de la precipitación entre dos percepciones sucesivas. para cuantificar la medida de la precipitación entre dos percepciones continuas.
- Estación Pluviográfica (PG): Es la que registra de manera mecánica y persistente la precipitación, en un diagrama que permite conocer la suma, la duración, la potencia y el período en que se ha producido el aguacero. Hoy en día, se utilizan las medidas de aguacero diarias.
- Estación Climatológica principal (CP): Se trata de una en la que se perciben las precipitaciones, la temperatura del aire, las temperaturas máximas y mínimas a 2 metros, la humedad, el viento, la radiación, el brillo orientado al sol, la disipación, las temperaturas máximas de un tanque de

evaporación, la medida de las nieblas y las maravillas poco comunes. Una gran parte de estos límites se adquiere a partir de instrumentos de registro.

- Estación Climatológica ordinaria (CO): Es donde se realizan esencialmente las percepciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas más extremas y menos a 2 metros y humedad. No tienen muchos instrumentos de registro. Algunos tienen instrumentos adicionales, por ejemplo, tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro.
- Estación Sinóptica principal (SP): En este tipo de estación, las percepciones de los componentes meteorológicos primarios se realizan a horas universalmente coincidentes. La información se toma cada hora y se refiere a la nubosidad, la dirección y la velocidad del viento, el factor de presión barométrica, la temperatura del aire, el tipo y la altura de las nubes, la percepción, fenómenos especiales, las características de la humedad, las precipitaciones, las temperaturas máximas, las capas críticas de nubes, el curso del viento y la agrupación de fenómenos climáticos.
- Estación Sinóptica secundaria (SS): Al igual que en la estación anterior, las percepciones se realizan en horas universalmente coincidentes y la información se compara generalmente con la perceptibilidad, los fenómenos especiales, el clima, la cobertura de nubes, las condiciones del suelo, la precipitación, la temperatura del aire, la humedad del aire, el factor de presión y el viento.
- Estación Agrometeorológica (AM): En esta estación se realizan percepciones meteorológicas y diferentes para ayudar a decidir las conexiones entre el medio ambiente desde una perspectiva y la vida de las plantas y los animales por otra. Incorpora un programa de percepciones similar al de la estación climatológica primaria, además de registros de temperatura a diferentes profundidades (dependientes de un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo). [15]

Distribución espacial de las estaciones, en la zona de influencia del estudio:



O. Información Recolectada

Con el fin de obtener la información necesaria para la obtención de la intensidad de precipitación, se realiza la solicitud de los datos de la estación Martota (35070320) ante el IDEAM, con el fin de realizar la transformación de datos y obtener los resultados para el análisis respectivo.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2003													
MÁXIMO	9.0	4.0	21.0	30.0	29.0	29.0	25.0	28.0	38.0	17.0	17.0	16.0	
MEDIO	1.2	0.4	4.4	5.6	9.5	8.0	8.6	8.7	7.7	3.2	2.7	2.2	
MÍNIMO	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	0.6	2.0	1.0	
2004													
MÁXIMO	6.0	18.0	4.0	70.0	65.5	48.6	31.0	39.0	23.0	28.0	25.0	14.0	
MEDIO	0.3	1.5	0.3	7.9	14.0	12.8	10.1	11.8	4.8	4.0	2.5	0.7	
MÍNIMO	4.0	1.0	1.5	1.0	1.0	3.3	0.5	2.0	1.6	1.0	1.0	1.0	
2006													
MÁXIMO	18.5	1.0	24.5	54.0	76.0	40.0	27.5	27.6	20.0	29.0	66.6	15.1	
MEDIO	2.2	0.0	5.4	9.9	8.2	12.0	7.2	6.8	3.9	4.6	4.3	0.6	
MÍNIMO	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.7	0.5	0.5	0.5	0.3	
2007													
MÁXIMO	0.0	31.0	40.8	40.5	40.5	70.5	31.1	60.8	45.0	10.5	42.0	30.4	
MEDIO	0.0	1.6	5.6	7.7	10.4	17.9	3.8	10.2	9.8	2.1	3.7	4.0	
MÍNIMO	0.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	2.3	3.8	
2008													
MÁXIMO	44.3	11.2	22.5	52.0	52.0	62.0	34.8	65.3	42.3	45.0	50.5	6.8	
MEDIO	3.0	1.0	1.6	8.4	11.5	16.2	13.3	8.3	6.2	6.7	8.7	0.5	
MÍNIMO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	4.5	1.5	
2009													
MÁXIMO	8.1	9.3	22.4	53.4	42.0	62.0	64.8	48.0	64.4	63.4	22.0	4.8	
MEDIO	1.1	1.0	3.3	11.4	5.9	16.5	19.5	13.0	10.8	7.5	2.4	0.3	
MÍNIMO	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.8	
2010													
MÁXIMO	1.5	10.5	55.6	52.6	58.1	63.4	32.4	14.3	11.0	12.0	12.9	21.0	
MEDIO	0.0	1.3	8.8	16.2	16.5	13.3	9.0	3.4	2.4	2.7	3.4	2.8	
MÍNIMO	1.5	4.5	2.3	1.2	1.0	1.0	1.0	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
2012													
MÁXIMO	4.9	8.6	20.4	28.6	32.0	20.4	18.4	21.0	9.6	11.0	10.8	8.3	
MEDIO	0.3	0.6	5.6	5.6	5.7	5.2	6.6	6.0	2.4	2.9	1.3	0.8	
MÍNIMO	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5	
2013													
MÁXIMO	1.2	10.5	10.5	10.5	10.5	9.6	9.4	14.6	13.6	9.5	9.3	6.1	
MEDIO	0.0	1.1	2.9	1.8	3.0	1.9	3.1	4.0	2.6	0.7	2.3	0.5	
MÍNIMO	1.2	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
2015													
MÁXIMO	8.7	9.1	6.4	19.5	6.7	16.5	6.3	6.3	6.2	3.5	30.0	0.0	
MEDIO	1.2	1.3	0.6	5.2	1.3	4.7	1.9	1.3	1.0	0.5	7.8	0.0	
MÍNIMO	1.0	6.3	0.2	1.2	1.2	0.8	1.0	0.6	0.8	0.3	1.5	0.0	
PROMEDIO ACUMULADO													TOTAL
MÁXIMO	10.2	11.3	22.8	41.1	41.2	42.2	28.1	32.5	27.3	22.9	28.6	12.3	26.7
MEDIO	1.0	1.0	3.9	8.0	8.6	10.8	8.3	7.3	5.2	3.5	3.9	1.2	5.2
MÍNIMO	1.4	1.9	1.0	0.9	1.1	1.1	0.8	0.8	0.7	0.6	1.4	1.1	1.1

Fig. 2. Datos Estación.

Nota: Elaboración propia (2021)

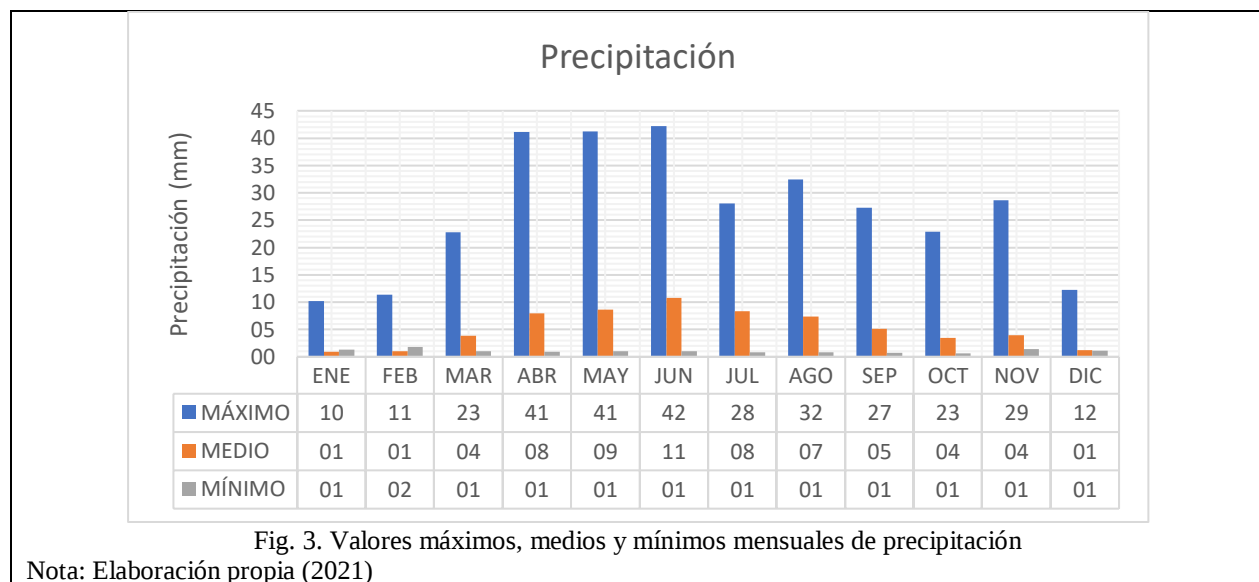
P. Precipitación total.

La precipitación es la caída de agua del aire a la superficie del planeta. La precipitación es esencial para el ciclo del agua que mantiene el equilibrio y la alimentación, todo el ecosistema. La precipitación se produce por la acumulación de agua, es decir, por la acumulación de agua en el

aire formando nubes. El agua que se acumula en el aire está, en general, en estado de vapor. Cuando hay mucha agua vaporizada dentro de las nubes, el agua pasa del estado gaseoso al estado fluido o al sólido. [16]

La variabilidad de las precipitaciones en la región es monomodal, con un período seco desde mediados de diciembre hasta el límite más lejano de marzo y un período lluvioso desde abril hasta mediados de diciembre. Las informaciones de las estaciones muestran que la precipitación normal en Almeida está en torno a los 1.516 mm/año. Este comportamiento de las precipitaciones se debe a que la sierra oriental hace de límite a los giros de intercambio del sureste que transportan la humedad, produciendo importantes precipitaciones cuando chocan con la sierra, lo que muestra el impacto de la orografía en el evento de las precipitaciones, fenómeno que proviene del curso climático de las masas de aire a causa de los contrastes cálidos. [17]

En la figura 3 se muestran los valores de precipitación máximos, medios y mínimos, en el área de influencia del estudio.



Q. Análisis hidrológico de la zona de estudio

Como paso inicial, se debe realizar una investigación de las variables climatológicas para describir la región de interés; a lo largo de estas líneas, se utilizará el enfoque de desbordamiento de la precipitación para determinar cada una de las situaciones de los arroyos.

Por lo tanto, los hidrogramas se adquieren en función de los registros de precipitación verificables obtenidos de las estaciones obligatorias de la región de interés; por último, se crea el procedimiento mejorado para determinar las curvas de intensidad, frecuencia y duración, con el fin de obtener la intensidad de precipitación en mm/h, y a partir de esta la caracterización de la zona de acuerdo con el área calculada y el tipo de suelo.

1) Complementar Datos

Se utilizó el método de la razón normal para determinar los datos faltantes, en el cual se emplea la razón de los valores normales de la estación pluviométrica próxima a la que se desea calcular y está dada por la siguiente expresión matemática:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\frac{N_x P_A}{N_A} + \frac{N_x P_B}{N_B} + \frac{N_x P_C}{N_C} \right]$$

Donde:

n: Número de estaciones pluviométricas con datos continuos.

P_x: Precipitación de la estación a la cual le faltan datos en un periodo de tiempo determinado.

P₁ a P_n: Precipitación de la estación de referencia

N_x: Precipitación media anual de la estación (x)

N₁ a N_n: Precipitación media de las estaciones de referencia.

2) Caudales Máximos.

Se utilizó el modelo de desbordamiento de las precipitaciones creado por el Servicio Nacional de Conservación de Recursos del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) para obtener los hidrogramas en función de los registros de precipitación verificables adquiridos en la estación. [18]

3) Método lluvia-esorrentía- Soil Conservation Service (SCS)

La metodología del número de curva (CN) (Ven Te, 1984) fue creada por el Servicio de Conservación de Recursos Regulares de los Estados Unidos (NRCS), inicialmente llamado Servicio de Conservación del Suelo (SCS), para averiguar la precipitación viable como un elemento de la precipitación total, la cobertura del suelo, el uso de la tierra y la cobertura del suelo. (NRCS), inicialmente llamado Servicio de Conservación del Suelo (SCS), para elaborar la precipitación viable como elemento de la precipitación combinada, la cubierta del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. La técnica del número de curva (CN), la más utilizada para convertir la precipitación completa en precipitación obligatoria, surgió de la percepción de los fenómenos hidrológicos en varios tipos de suelo en diferentes estados y para varias condiciones de humedad. La representación gráfica de la profundidad de la precipitación (P) y de la profundidad de la precipitación en abundancia o desbordamiento directo (Pe) permitió adquirir un grupo de curvas que se normalizaron a partir de un número de curva CN adimensional, que difiere de 1 a 100, en función del nivel de desbordamiento directo. En consecuencia, un número de curvatura CN = 100 muestra que toda la precipitación escurre y un CN = 1 demuestra que toda la precipitación penetra la capa superficial del suelo. [19]

a) Curva número

Para el cálculo de la precipitación efectiva, una estrategia utilizada depende de la técnica propuesta por el Servicio de Conservación del Suelo - SCS; para el plan de la técnica del número de curvas, la altura de la precipitación efectiva Pe es en todos los casos no exactamente o equivalente a la profundidad de la precipitación P; comparativamente, después de que el desbordamiento comienza, la profundidad extra de agua retenida en el cuenco Fa no es exactamente o equivalente a algún mantenimiento potencial mayor S.

Hay una medida segura de precipitación Ia (inicio de la deliberación antes del estanque) para la que no se producirá ningún desbordamiento, a partir de ese momento, el desbordamiento potencial es el contraste entre P e Ia.

La filosofía del número de curva considera como factores en su aseguramiento

La precipitación, abordada para esta situación por la precipitación para un plazo anteriormente elegido.

- El complejo hidrológico de la tierra, que considera la interrelación de la cubierta vegetal de la tierra.
- La condición de humedad precursora; según estos factores, se establece un número de curvatura (CN) para abordar dicha interrelación.

Esta estrategia fue inicialmente propuesta para la evaluación de la precipitación neta que podría producir una tempestad (Monsalve Sáenz, 1995), pensando en el volumen de precipitación precursora en un tiempo de 5 a 30 días, determinado para establecer el desbordamiento inmediato que se puede anticipar ante una precipitación particular. [20]

Según esta metodología, el desbordamiento inmediato (Q) o precipitación viable, se comunica por la situación

$$Q=(P-0,2*S)^2/((P-0,8*S))$$

Donde:

Q: Es el derrame inmediato o precipitación viable, en pulgadas.

P: Es la precipitación que se observa, en pulgadas.

S: Es el contraste probable más extremo entre P y Q en el momento en que comienza la tempestad y aborda relativamente la deficiencia de derrame por invasión, captura y acopio superficial.

Las investigaciones observacionales dirigidas por el SCS (Montserrat, Joaquín y Teodoro, 1995) permitieron relacionar la invasión posible más extrema con un límite de referencia, llamado número de curva, CN, cuyas cualidades se clasifican en algún punto del rango de 0 y 100. [20]

$$S=100/CN-10$$

Donde:

CN: Número de curva

S: Es la distinción más extrema posible entre P y Q en el momento en que comienza la tempestad y aborda relativamente la desgracia del desbordamiento por penetración, interferencia y acopio superficial. (pulgadas)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fig. 4. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana

Fuente: Ven te Chow, 1994.

R. Área de drenaje

Es el valor del área de la cuenca que se está analizando, en este caso es de:

TABLA IV. SUPERFICIE DE LA CUENCA

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	QUEBRADA PANTANOS
Área	A	Km ²	4.61
		m ²	4610000
		Ha	461

Nota: Elaboración propia (2021)

S. Tiempos de concentración (T_c)

El tiempo de concentración y el tiempo de holgura son factores utilizados ampliamente en la configuración hidrológica para decidir el límite más extremo de presión de varios diseños; estos factores son explícitos en el sitio y dependen de las cualidades geomorfológicas de la cuenca y la precipitación. La hora de enfoque se denomina también tiempo de reacción o de equilibrio; la referencia la caracteriza como el tiempo necesario para alcanzar el estado consistente durante una tormenta uniforme, es decir, el tiempo necesario para que todo el marco (toda la cuenca) contribuya de forma viable a la edad de la corriente en el sitio de infiltración. La hora de concentración se atribuye normalmente al tiempo que tarda una gota de agua que cae en el lugar más alejado de la cuenca en llegar al lugar de desagüe. Esto generalmente no se relaciona con un fenómeno real, ya que puede haber lugares de la cuenca en los que el agua caída requiera una inversión mayor para llegar al sitio de desagüe que el punto más lejano. Además, debe ser evidente que el tiempo de concentración no es constante ya que depende de las características de la precipitación. [21]

A continuación, se presenta algunos tiempos de concentración de algunos autores:

- Kirpich

$$T_c = 0.06628 * \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (horas)

L = longitud del cauce principal en (Km)

S = pendiente total del cauce principal (m/m)

- Témez

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (horas)

L = longitud del cauce principal en (km)

S = pendiente del cauce principal (m/m)

- California Culverts

$$T_c = 60 \left[0.87 * \frac{L}{H} \right]^{0.385}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (min)

L = longitud del cauce principal en (Km)

H = diferencia de alturas del cauce principal (m)

- Vente Chow

$$T_c = 0.273 \left[\frac{L}{S^{0.5}} \right]^{0.77}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en horas (h).

L : Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S : Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

En la tabla VII, se muestran los resultados de los cálculos aplicados por las diferentes metodologías

TABLA V. PROMEDIO TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

QUEBRADA PANTANOS						
PARAMETROS CAUCE PRINCIPAL		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN TC (min)				PROMEDIO
LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	KIRPICH	TEMEZ	CALIFORNIA	VEN TE CHOW	
4846	0,121	31,06	87,38	8,98	63,83	47,81

Nota: Elaboración propia (2021)

T. Curvas sintéticas IDF

Dado que los registros de precipitación horaria no son accesibles en su mayor parte desde el IDEAM, los estudios utilizan la investigación de curvas de intensidad, duración y frecuencia para Colombia propuesta por Vargas y Granados, 1998, donde la intensidad de la precipitación puede determinarse a partir de la siguiente formula, para un período cuya duración es equivalente al tiempo de concentración de la cuenca.

La expresión calculada está dada por:

$$I = \frac{axT^b x M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

M = Precipitación máxima promedio anual en 24h

a, b, c, d = Parámetros de ajuste de la regresión, (parámetros regionalizados como se ilustran en la Figura 5, y sus valores se muestran en la tabla VIII.) (Manual de Drenajes para Carreteras, 2009).

TABLA VI. VALORES DE LOS COEFICIENTES a,b,c,d, PARA EL CÁLCULO . DE LA INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACIÓN (IDF) EN COLOMBIA

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83

Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Nota: Manual de Drenajes para Carreteras, 2009 (INVIAS)



TABLA VII. PROYECTO FINAL LA REGIÓN A LA CUAL PERTENECE ES LA REGIÓN ANDINA R1

a	b	c	D
0.94	0.18	0.66	0.83

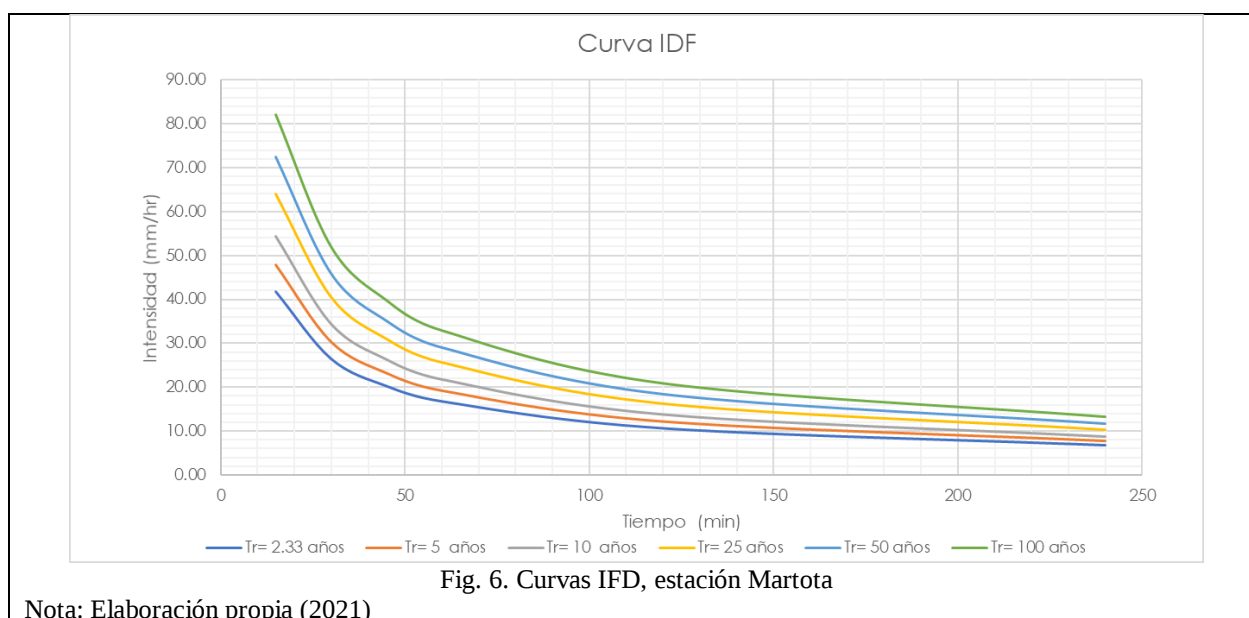
Nota: Elaboración propia (2021)

La cuenca presenta una precipitación máxima media multianual de, $P_{max24hrs} = 26.70 \text{ mm}$

TABLA VIII. PRECIPITACIÓN 24 HORAS PROMEDIO MULTIANUAL: 26.7 MM

Tiempo (min)	CURVAS IDF					
	Tiempo de Retorno (Años)					
	2.33	5	10	20	50	100
15	41.75	47.90	54.26	61.47	72.49	82.13
30	26.42	30.31	34.34	38.90	45.88	51.98
47.82	19.42	22.28	25.24	28.60	33.73	38.21
50	16.72	19.18	21.73	24.62	29.04	32.90
120	10.58	12.14	13.75	15.58	18.38	20.82
240	6.7	7.68	8.71	9.85	11.63	13.18

Nota: Elaboración propia (2021)



U. Usos del suelo del municipio de Almeida

Suelo rural: Esta clasificación incorpora los terrenos que no son apropiados para el uso urbano y suburbano, por razones de azar, o en vista de que están destinados a ejercicios agrarios, de animales, de servicios de guardabosques, de uso de bienes regulares y comparativos.

La zona rural es la zona destinada a ejercicios de conservación, aseguramiento y producción principalmente y considerando los estados social, monetario, natural y de control de la organización hidrográfica y el balance hídrico, la geografía, la geomorfología, la calidad del suelo, la inclinación del territorio, los usos de flujo, la presencia de bosques y activos mineros y el área geográfica.

El uso de la tierra se compara con la tierra del campo, destinada a los siguientes usos: Suelo para aseguramiento de corrientes y extracción (Bs), suelo para recuperación y extracción de madera (Bc), suelo para animales domésticos de doble razón y aseguramiento de fuentes de agua (Pg), agricultura de sostenimiento interno y pastoreo (C1), animales de doble razón y agroindustria de pancojer (C2) por último en la zona norte de la vereda Umbavita con el reflejo del agua, la utilización se relaciona con la edad de energía, entretenimiento y pesca.

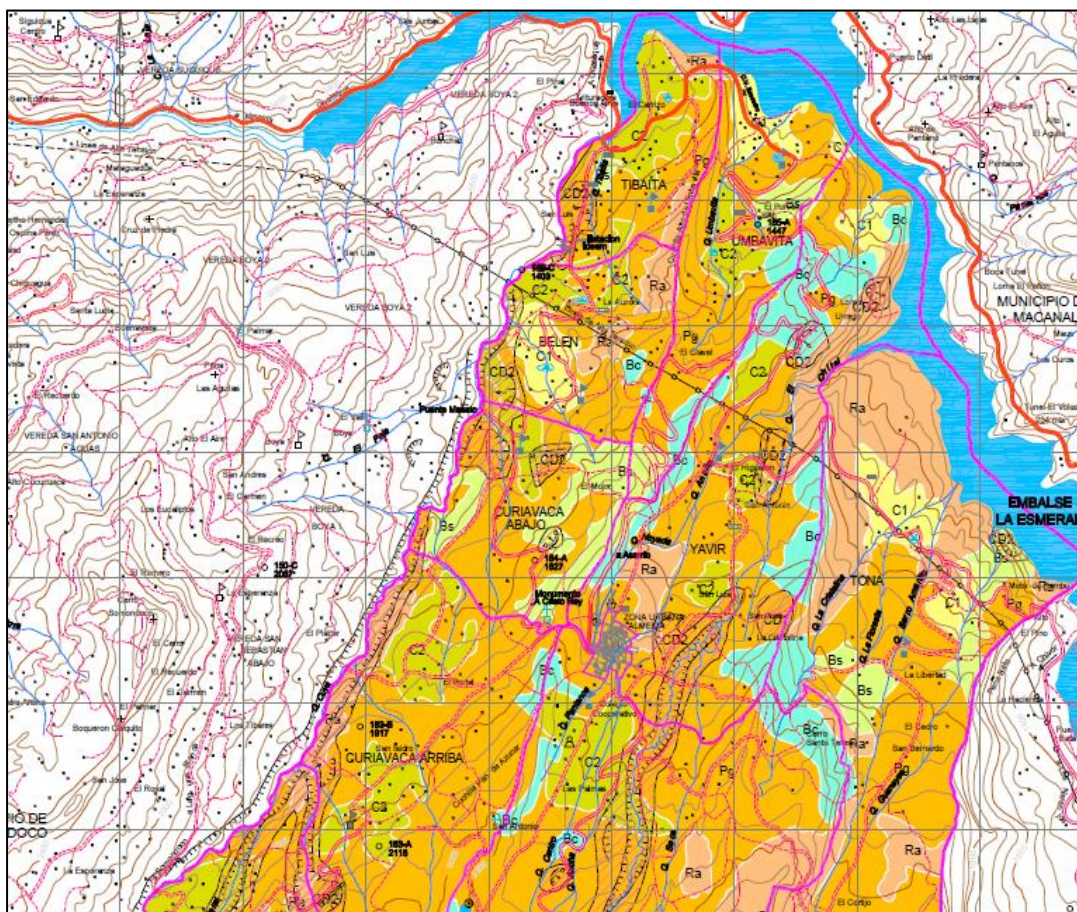


Fig. 7. Uso actual del suelo y cobertura municipio de Almeida

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Almeida (2002).

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fig. 8. Coeficientes de Escorrentía

Fuente: Lemus & Navarro (2003)

De acuerdo con la tabla anterior y el uso actual de los suelos del municipio de Almeida se tiene, cultivos con suelos semipermeables y pendientes entre el 5 y 20 %, con un valor de 0.50

V. Cálculo de Caudales

TABLA IX. CALCULO DEL CAUDAL, CON UN TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE 47.82 MINUTOS

Tr	C	I (mm/h)	A (Ha)	Q (l/s)	Q (m3/s)
20	0.5	28.6	461	6592.3	6.6
50	0.5	33.73	461	7774.8	7.8
100	0.5	38.21	461	8807.4	8.8

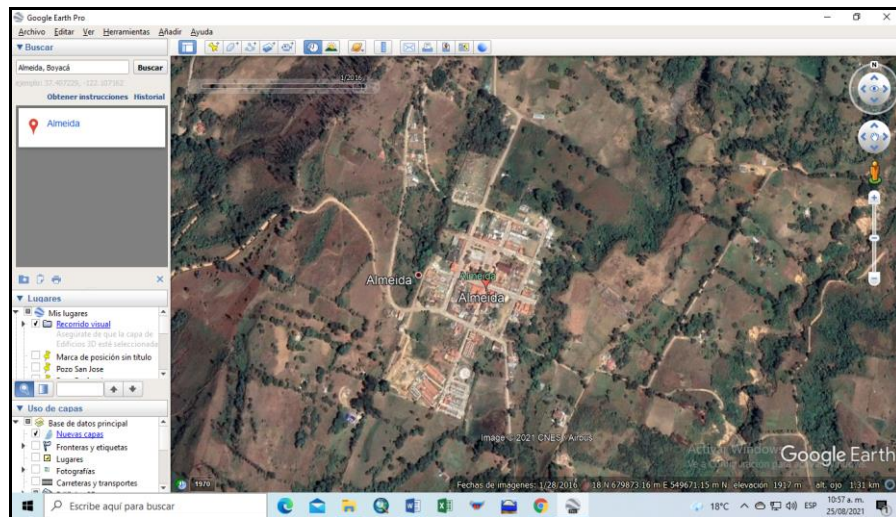
Nota: Elaboración propia (2021)

W. Desarrollo del Proyecto

El presente caso de estudio se va a realizar en departamento de Boyacá, en el municipio de Almeida, tiene el objetivo de determinar la susceptibilidad de inundación de la cuenca urbana, con el fin de evitar posibles problemáticas futuras que se pueden dar en la zona, al no realizar un correcto procedimiento de gestión del riesgo por inundación.

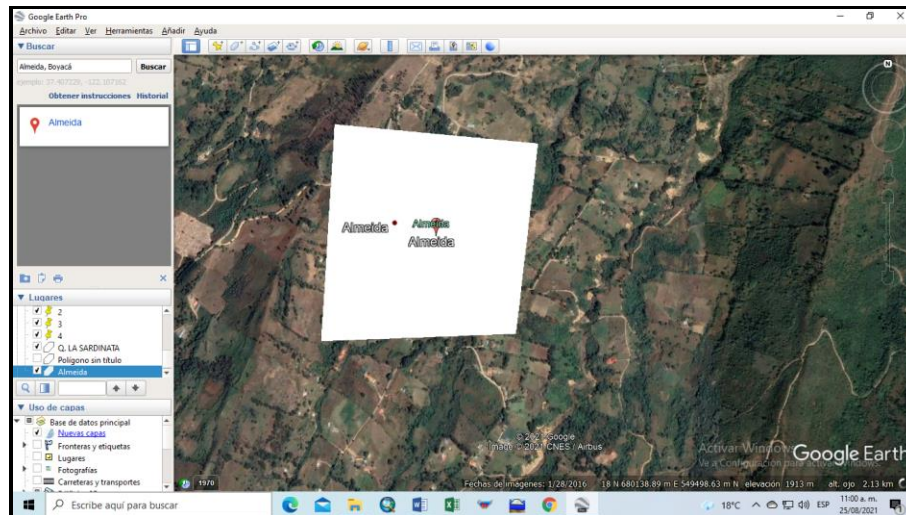
Como primer paso se debe localizar la zona en Google Earth Pro.

X. localizar la zona en google earth pro



Cuando se localice la zona que se desea analizar se debe realizar un polígono para delimitar la topografía que se pueda analizar

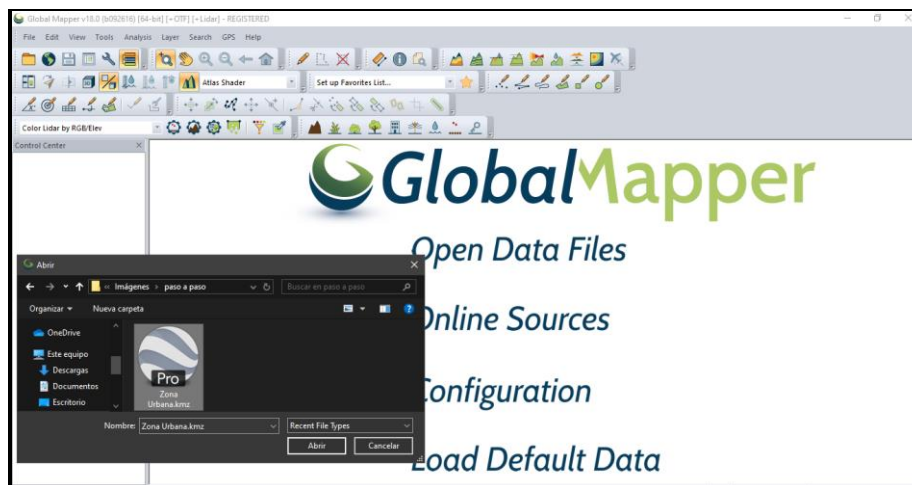
Y. Delimitación de zona



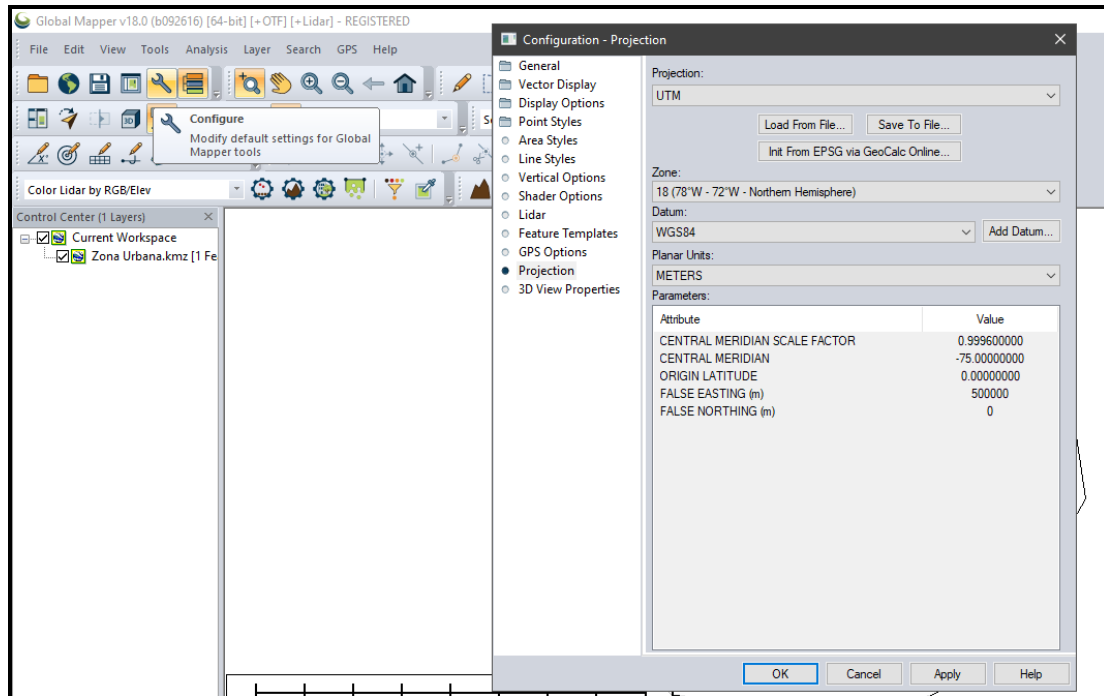
Este archivo tiene la información topográfica de la zona, pero para la modelización en Iber deben transformarse en otra extensión de archivo.

Ahora se abre la aplicación Global Mapper y se ejecuta el archivo que se guardó anteriormente.

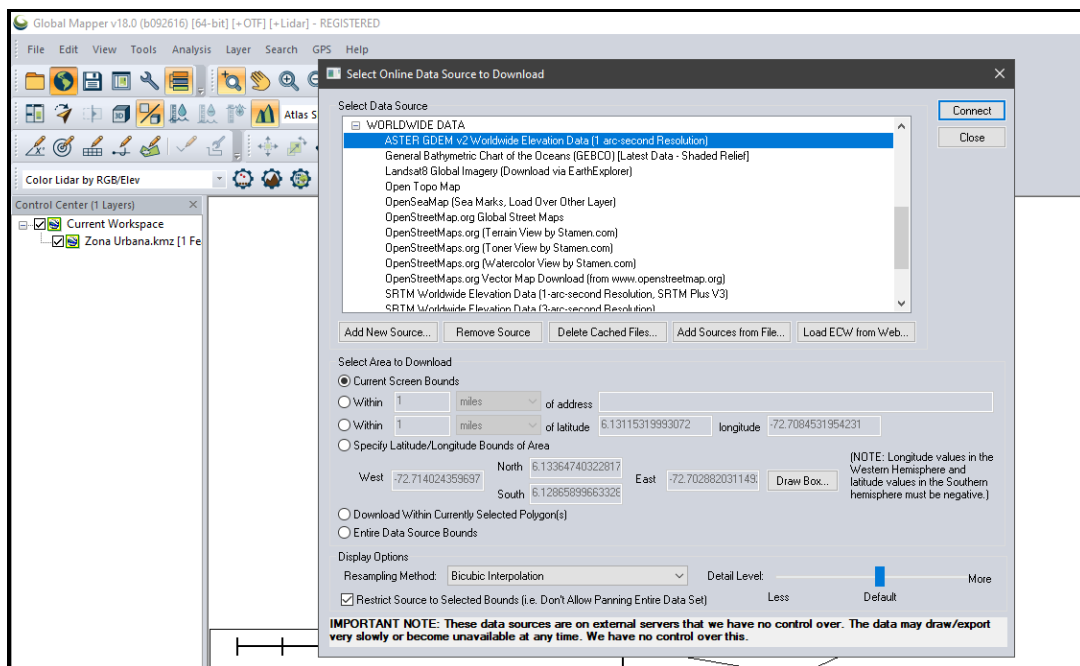
Z. Global Mapper



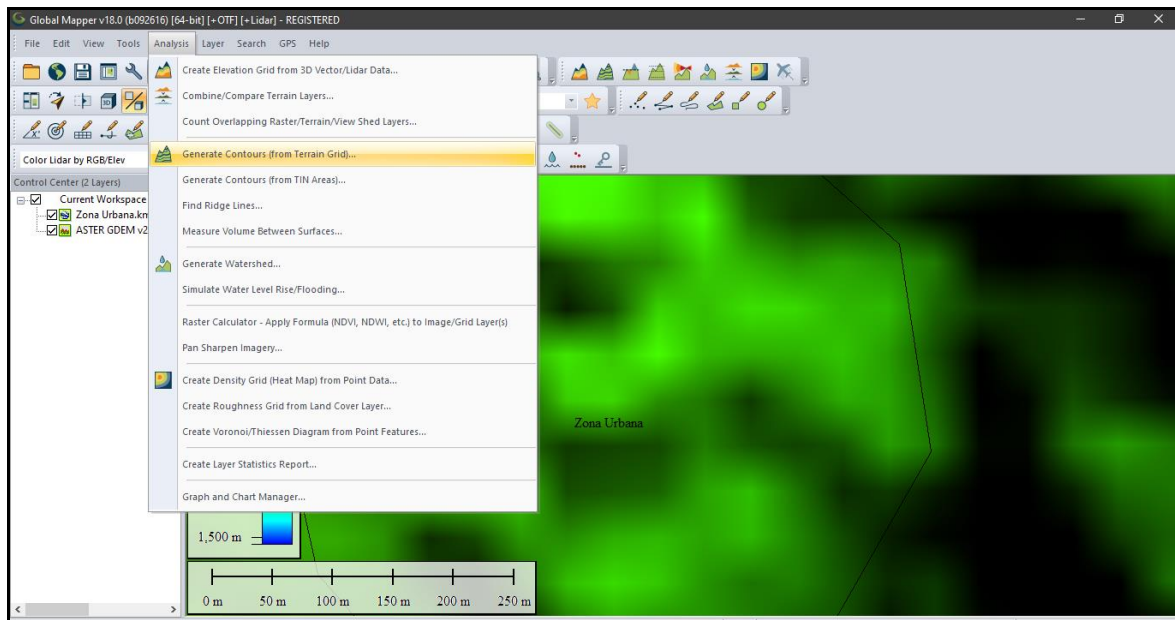
Se debe configurar el sistema de coordenadas a la proyección cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), debido a que las coordenadas con las que la imagen de fondo obtenida de Google Earth, permite estas coordenadas.



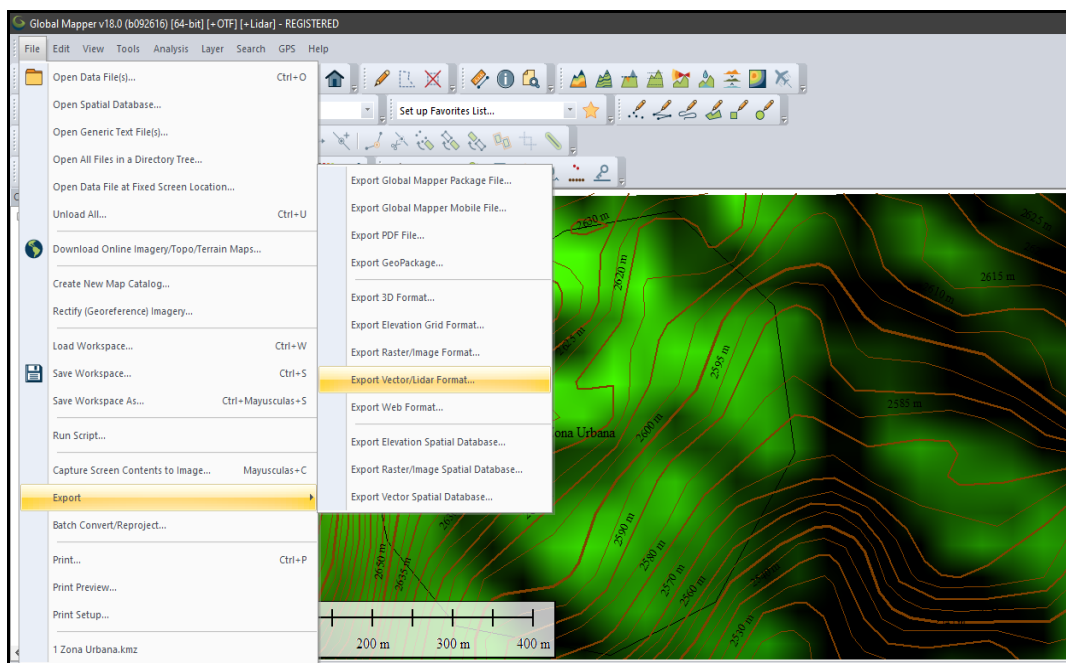
Ahora se conectan los datos satelitales, para determinar las características del polígono.



Como siguiente paso se deben realizar las curvas de nivel para determinar la topografía.

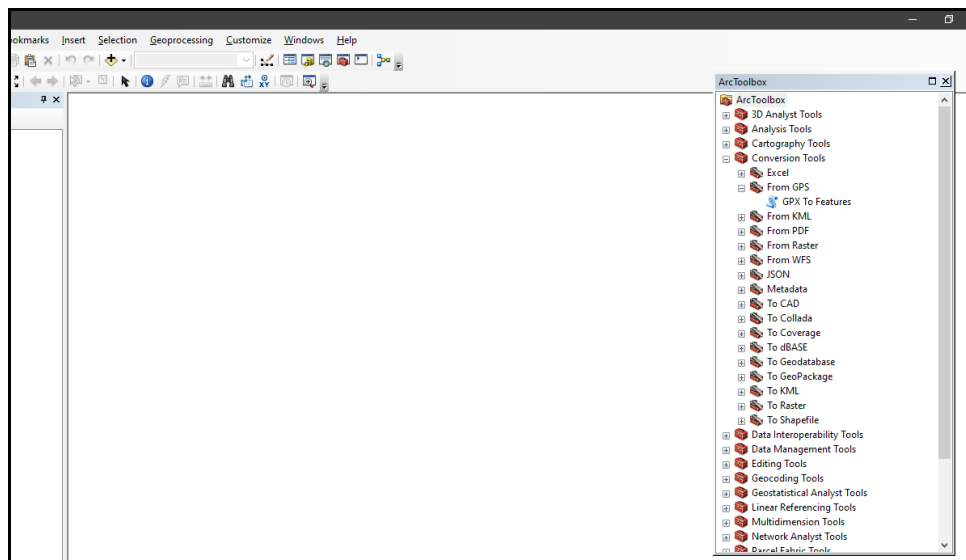


Siguiendo estos pasos se debe exportar a un archivo de GPX para abrir en ArcMap para convertir el archivo en formato .TXT.

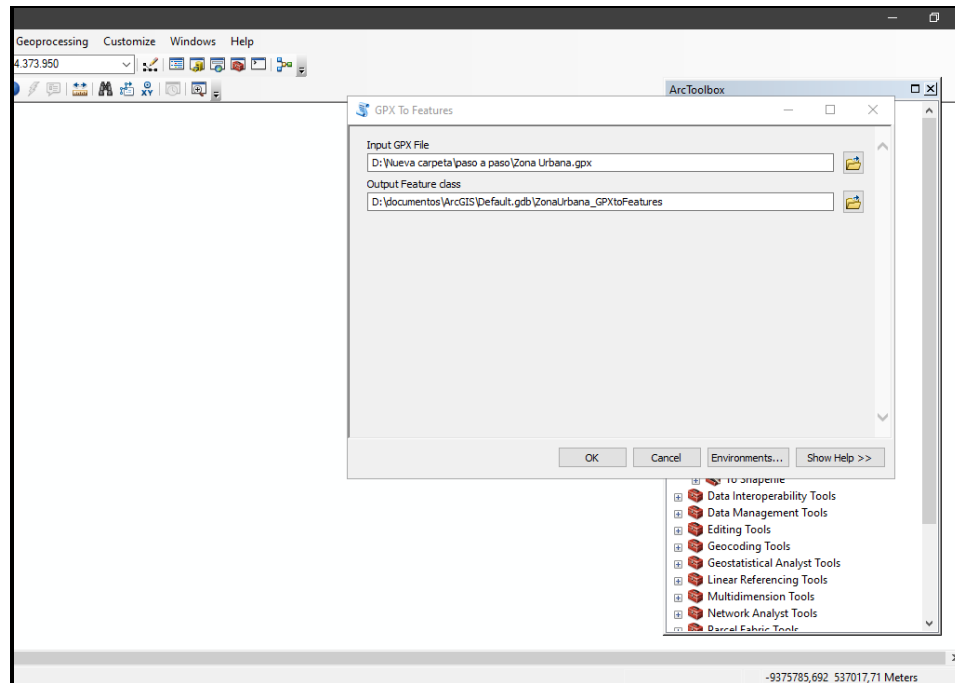


AA. ArcMap

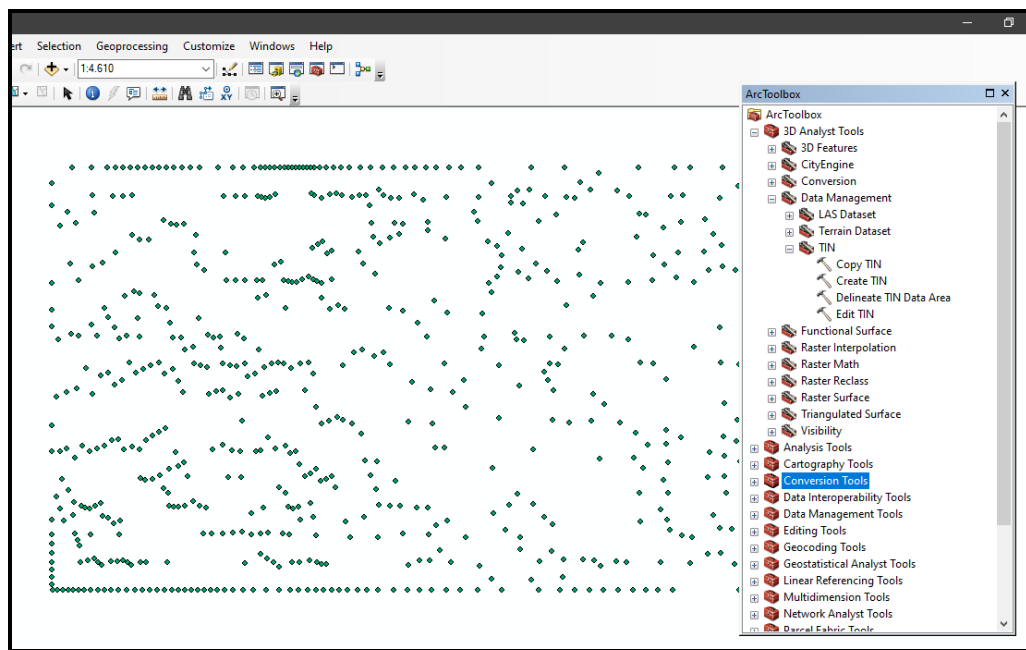
En el programa ArcMap se abre la herramienta ArcToolBox y se escoge la opción conversión tools y seguidamente from GPS.



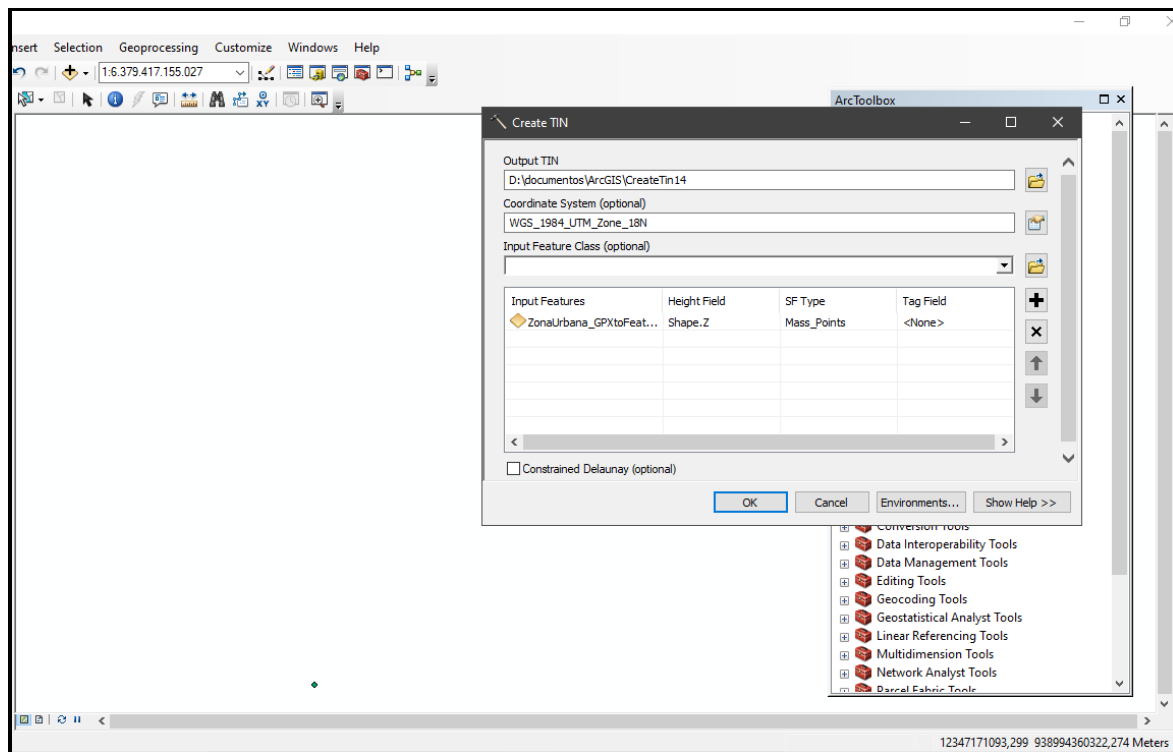
Se selecciona el archivo que se exportó anteriormente



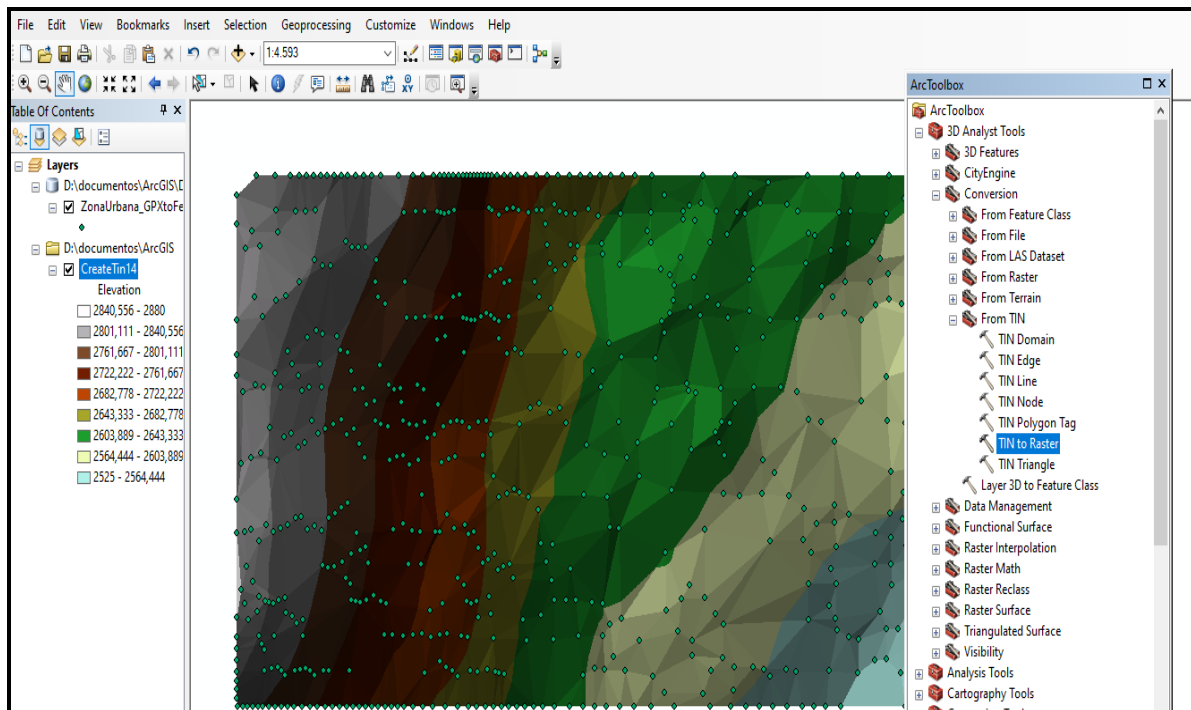
Ahora se debe crear un TIN mediante la sección 3D Analyst tools – data management-TIN-create TIN



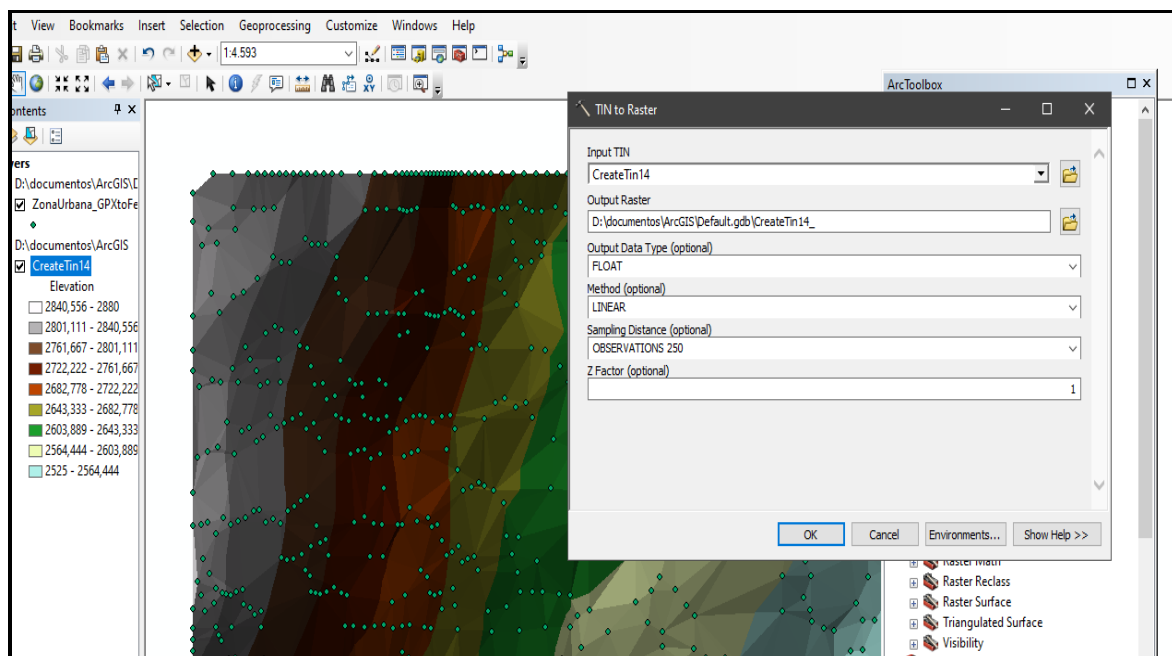
El siguiente paso es configurar la zona en UTM y crear el TIN



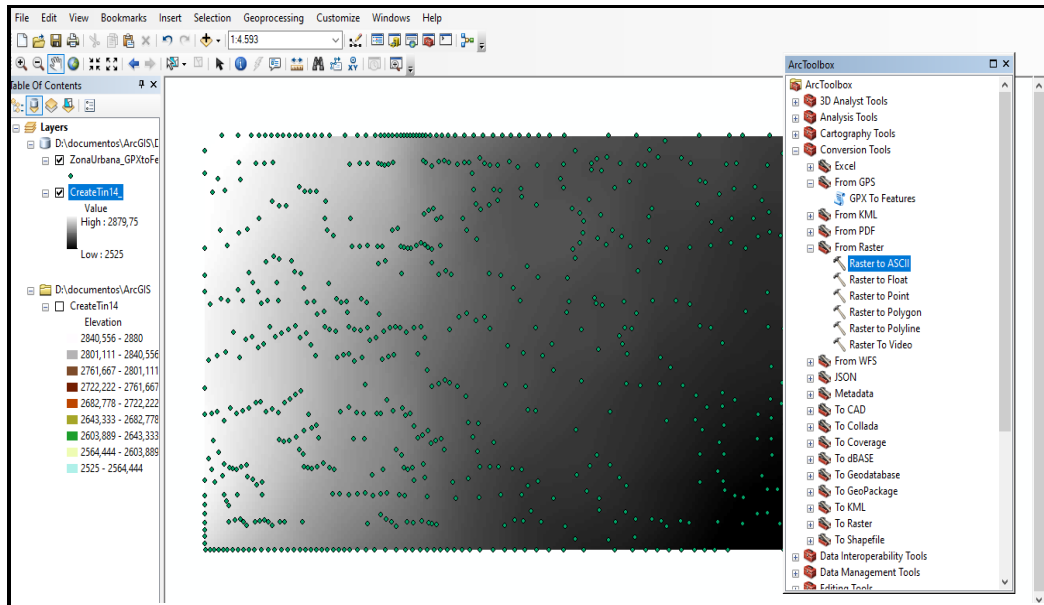
Con la superficie TIN creada ahora se convertirá en un Raster



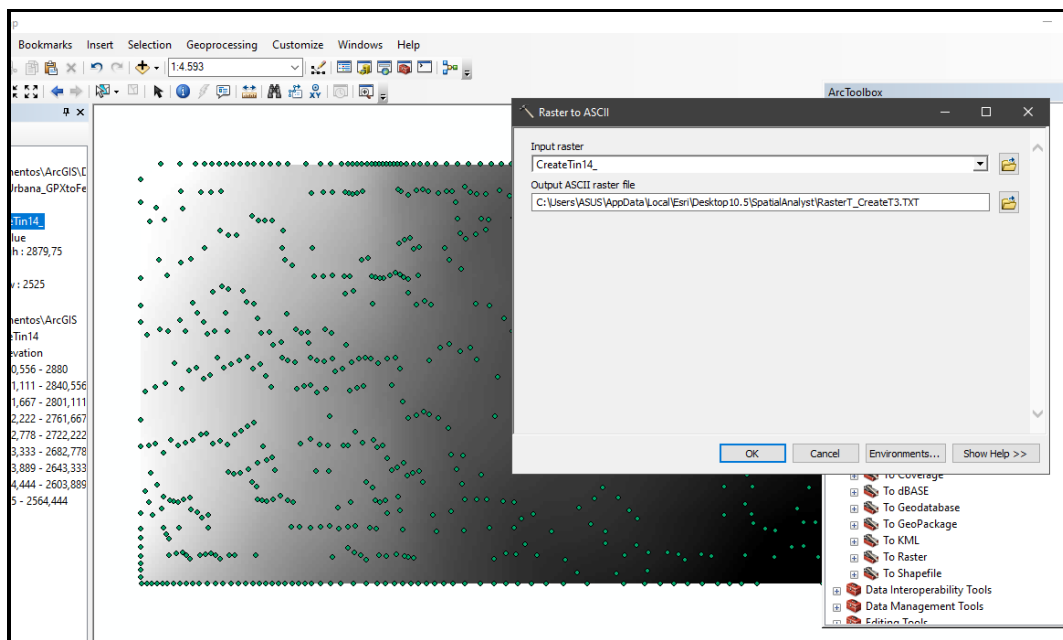
Este paso se realiza para convertir el archivo TIN en un Raster con el fin de convertirlo en un archivo ASCII.



Se debe convertir la superficie a formato Ráster para importarla en Iber.

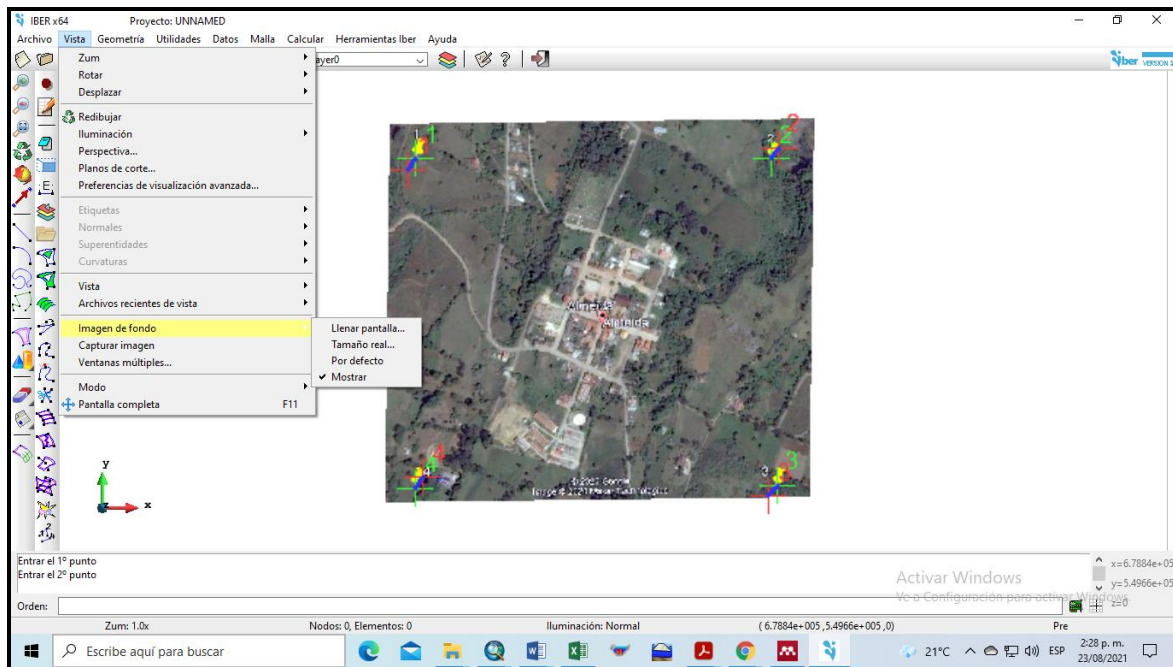


Cómo último paso se guarda el archivo ASCII para importarla después en el programa Iber.

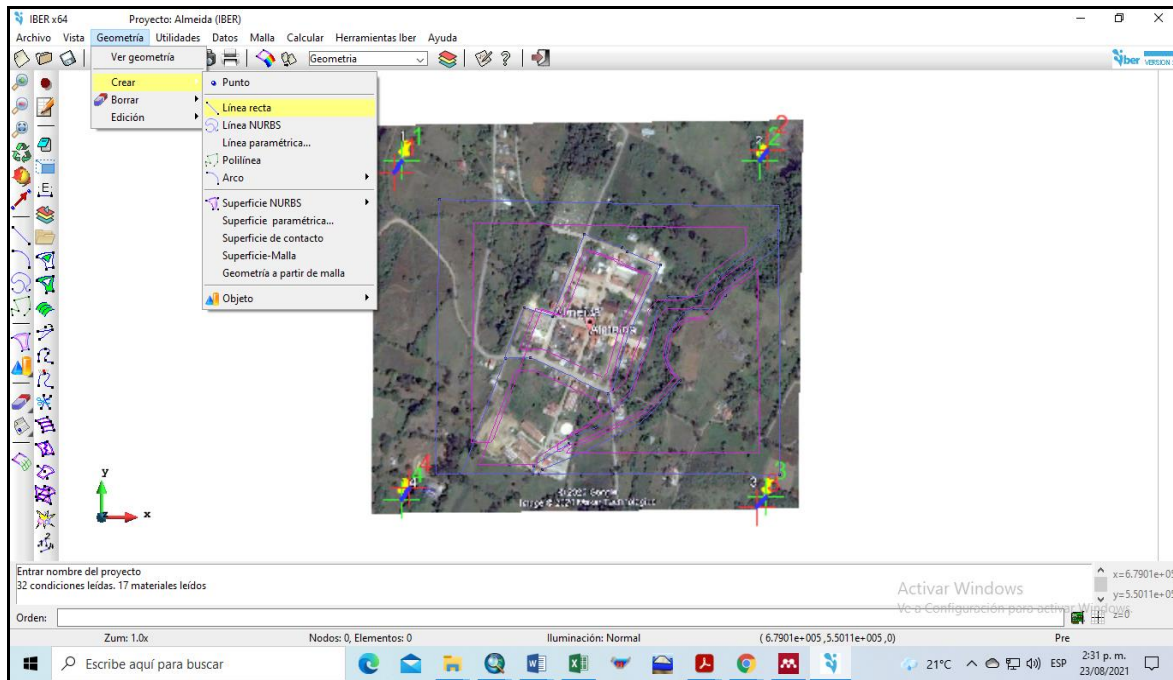


BB. Iber

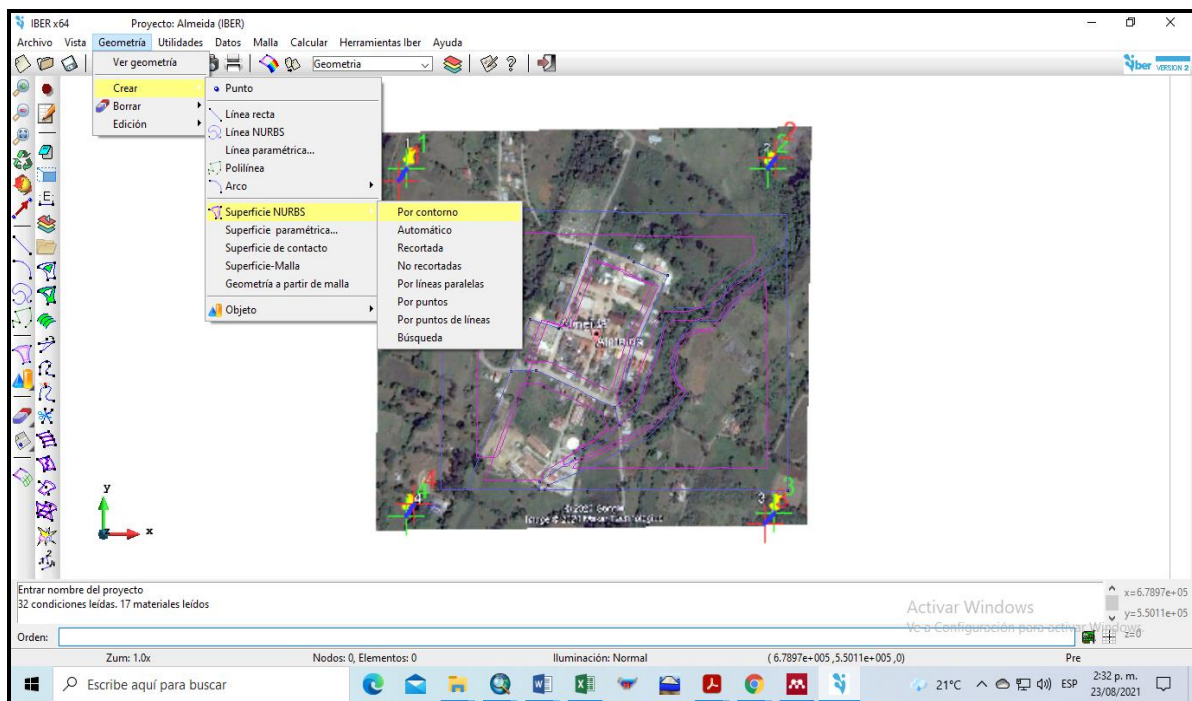
A continuación, se describe el paso a paso para la utilización de la utilización del Modelo IBER.
Cargar foto de Fondo.



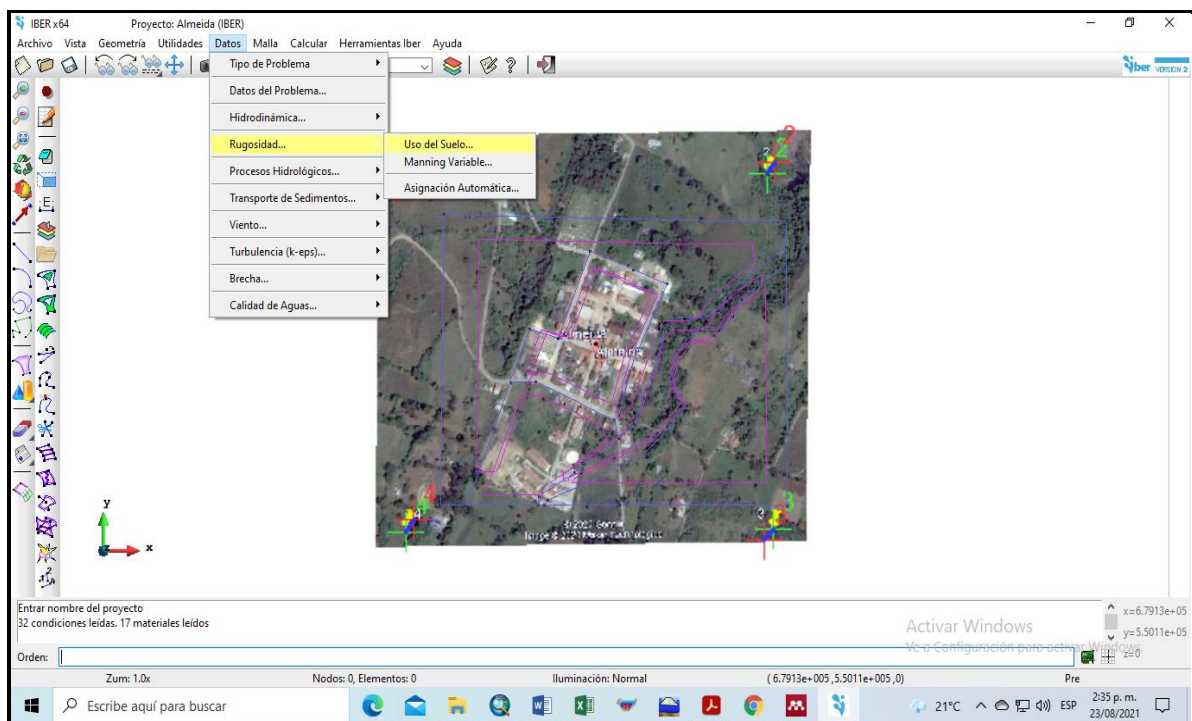
Se crean las líneas, en las cuales se pretende realizar el análisis de inundación, en este caso es el área del municipio de Almeida.

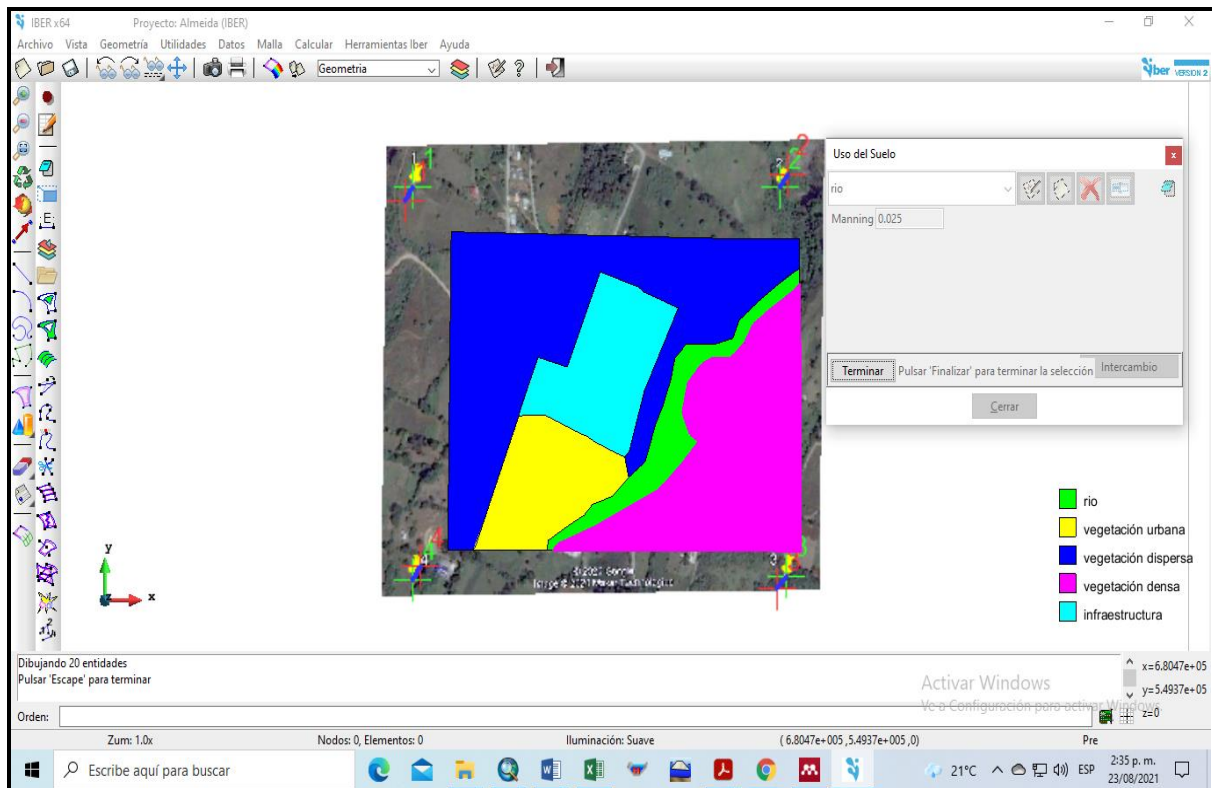


A continuación, se crean las superficies de las áreas de interés

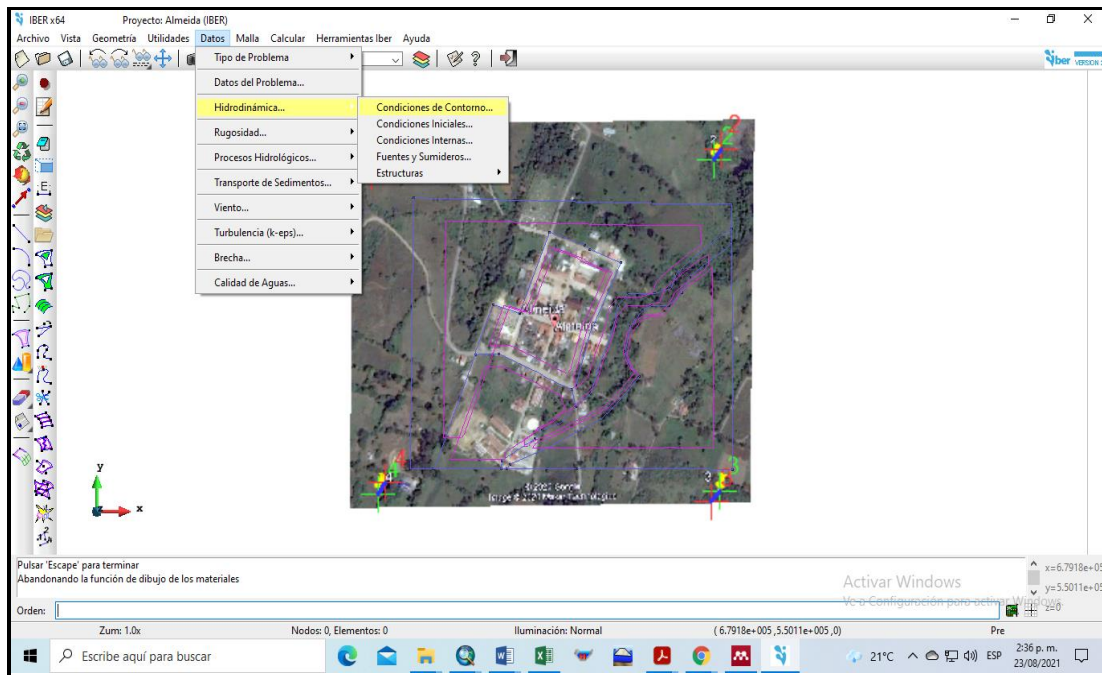


Asignar la rugosidad a cada una de las superficies

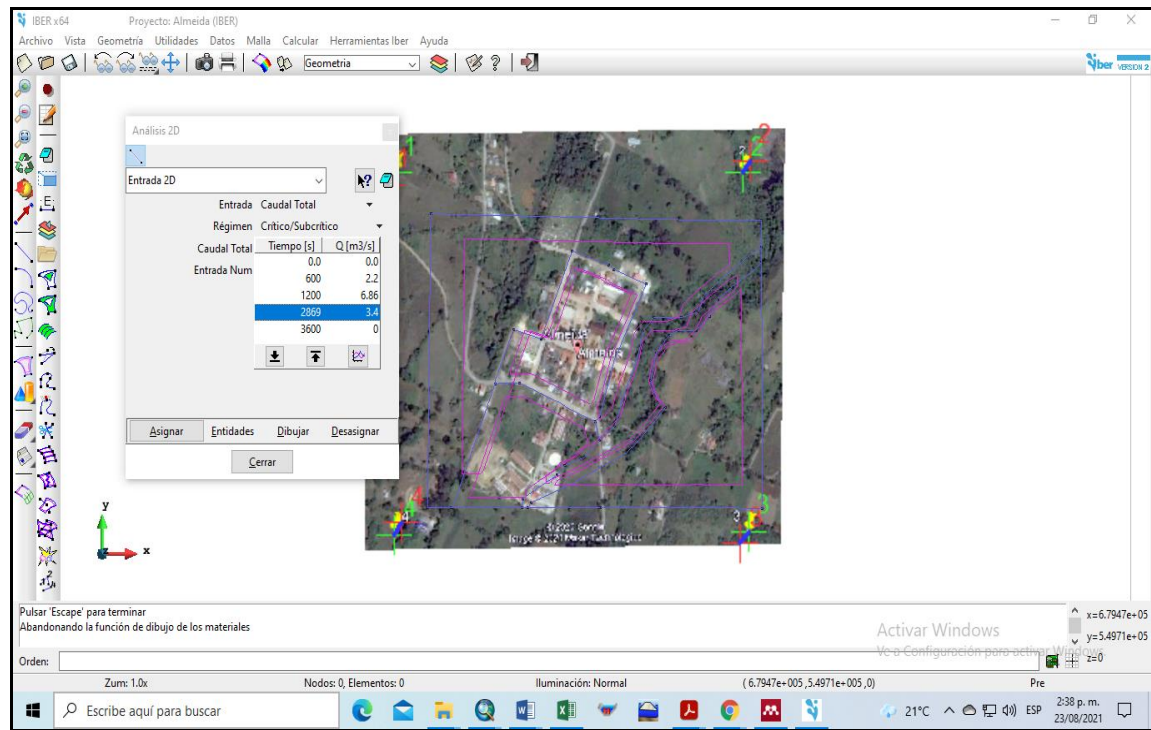




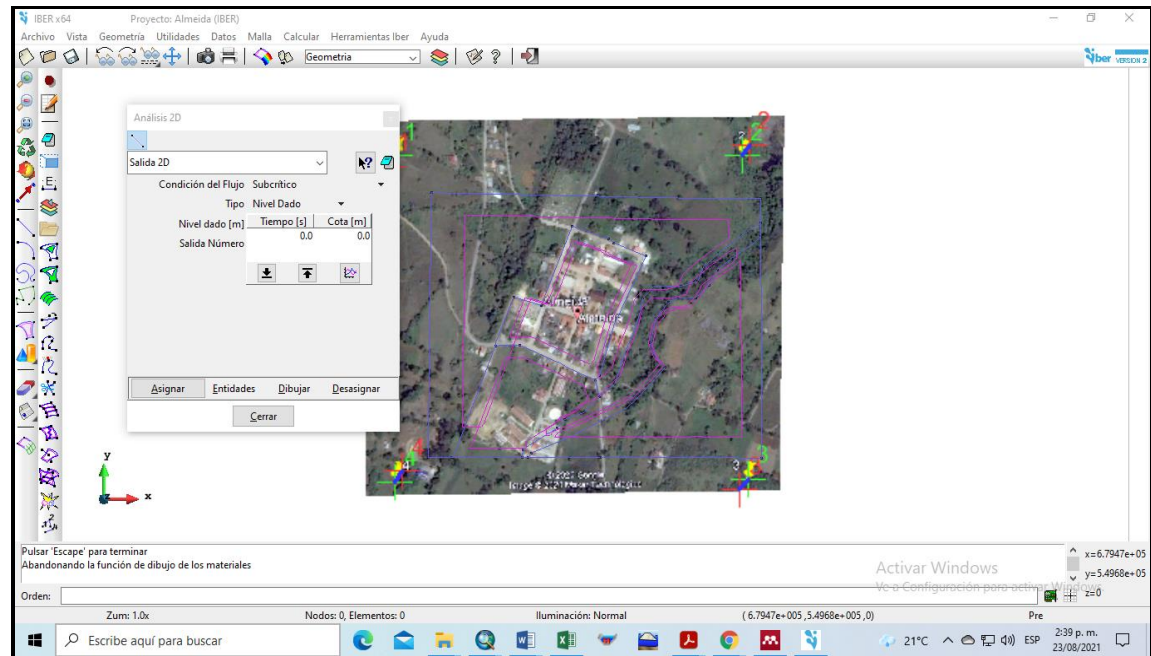
Asignación de las condiciones de entrada, de acuerdo con los datos calculados de caudal, tanto de entrada como de salida.



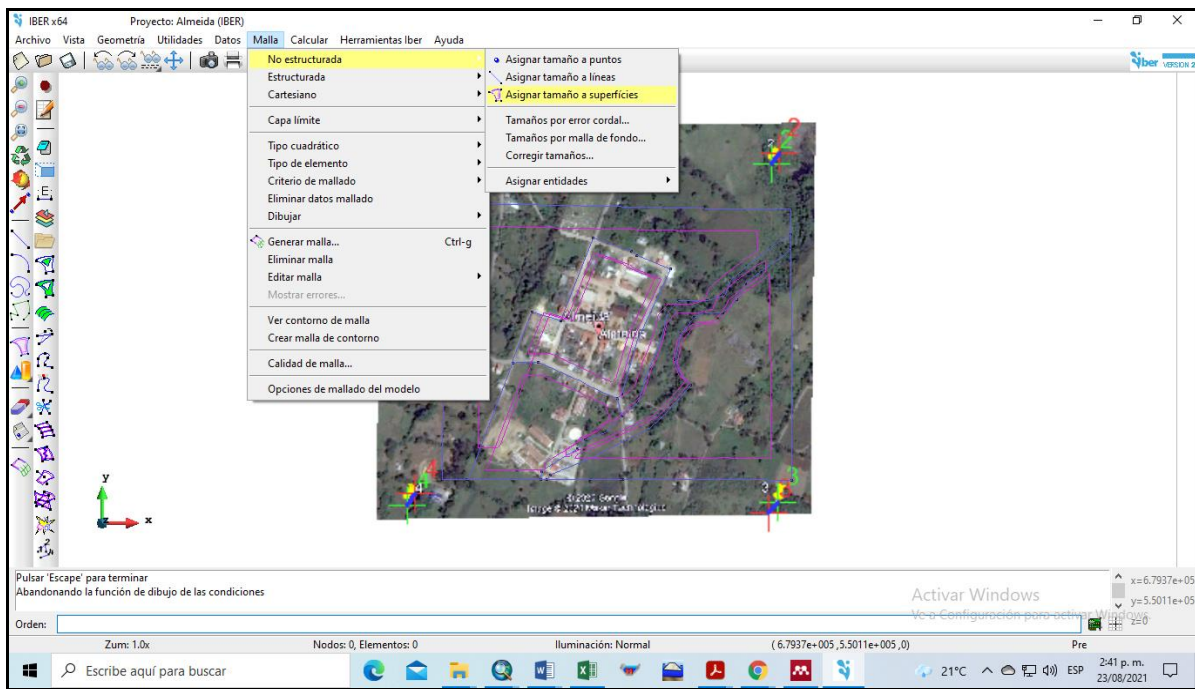
Datos de Entrada.



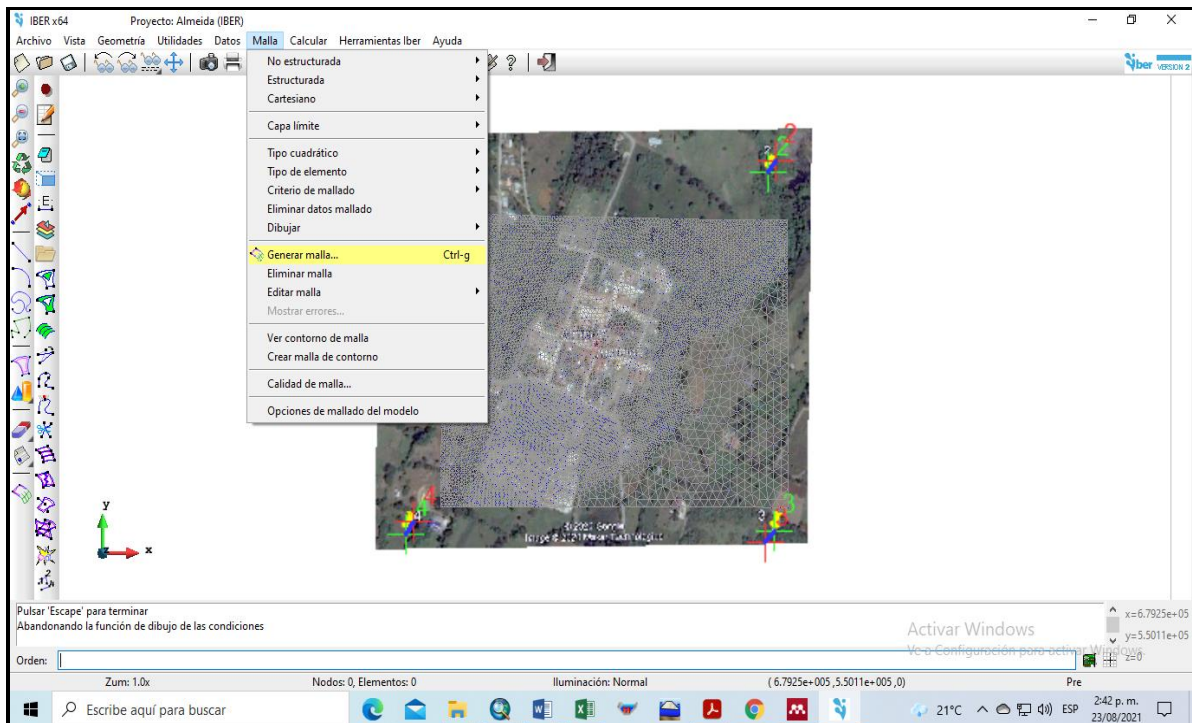
Datos de Salida.



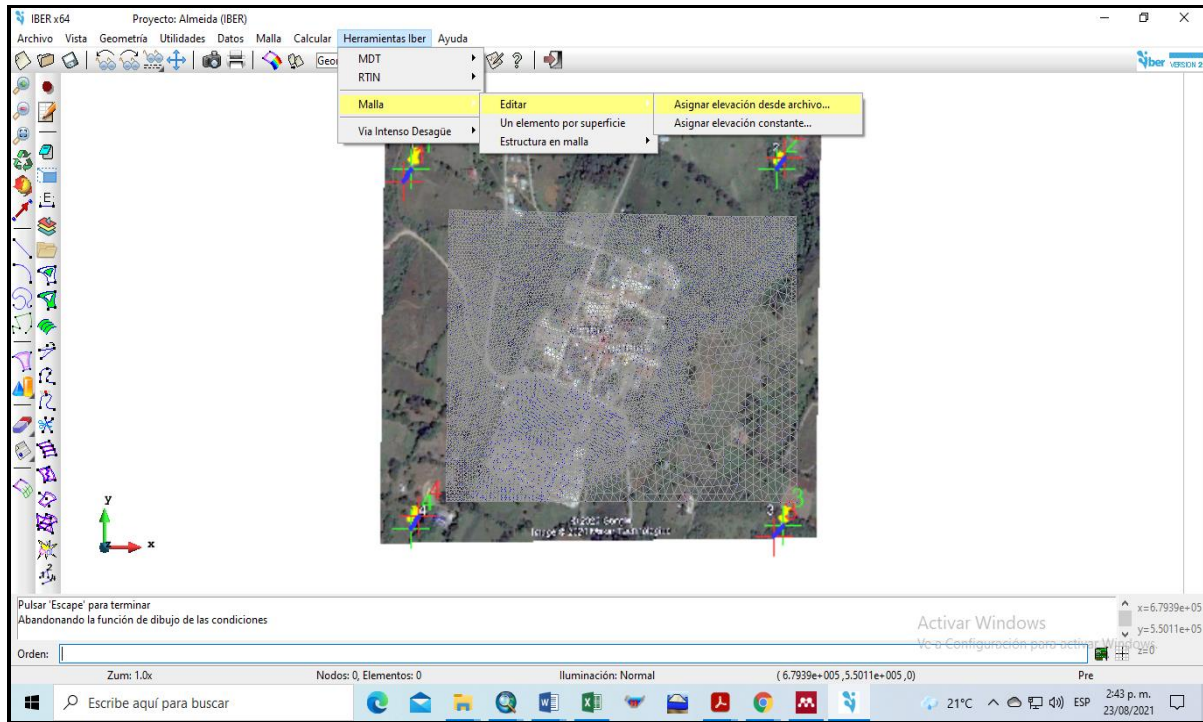
Asignación del tamaño de las mallas, entre más pequeña sea la malla, el nivel de precisión es más alta, pero el cálculo es más demorado.



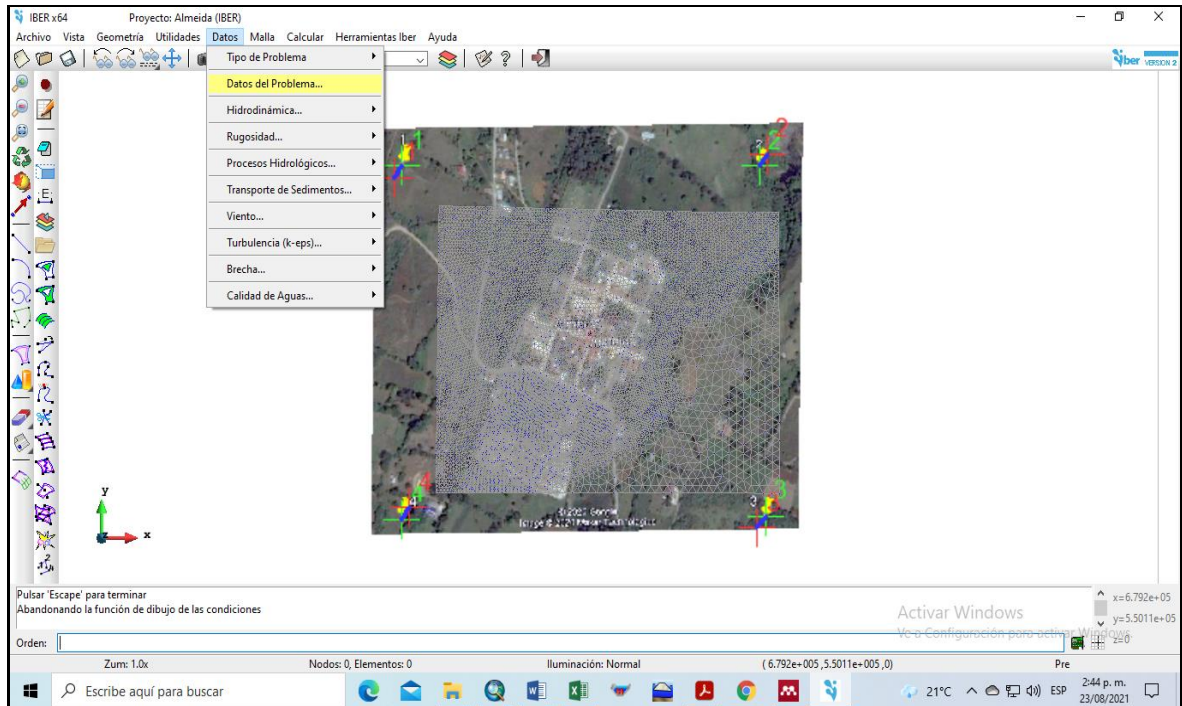
Después de asignada la malla, se realiza la generación de la misma



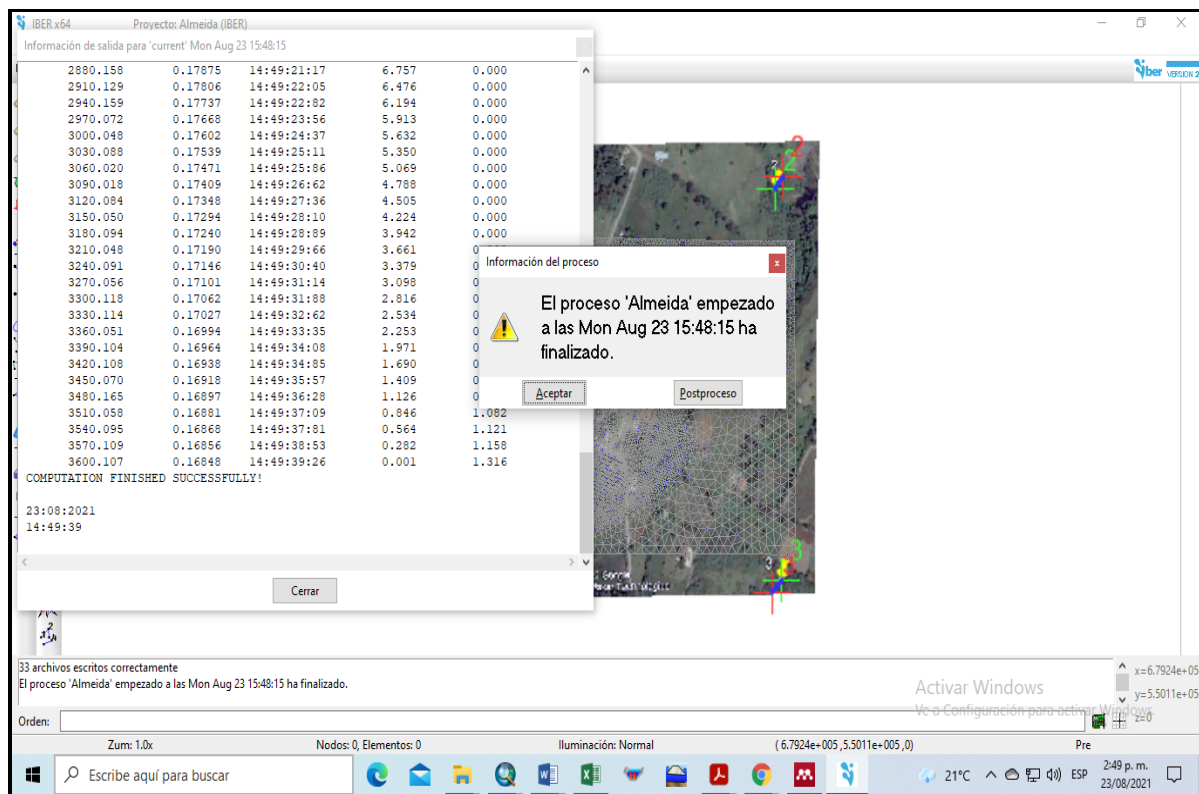
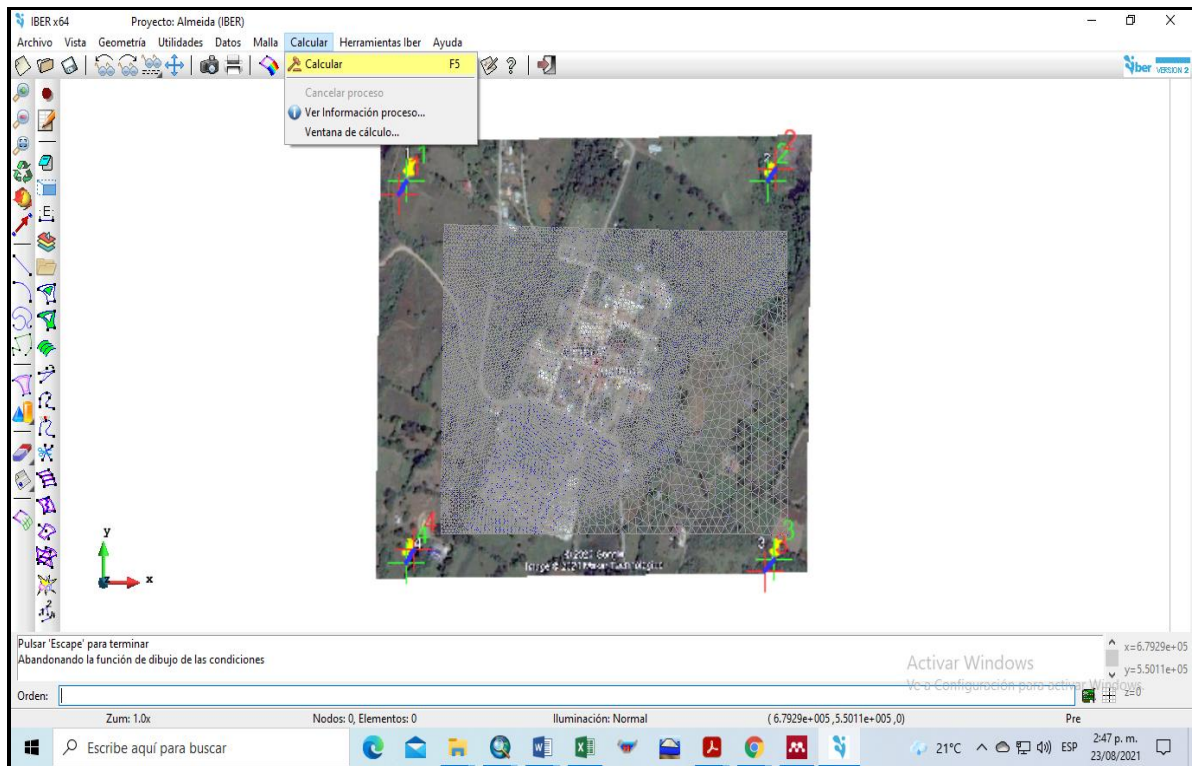
Se modifican las cotas de las mallas cargando la topografía.



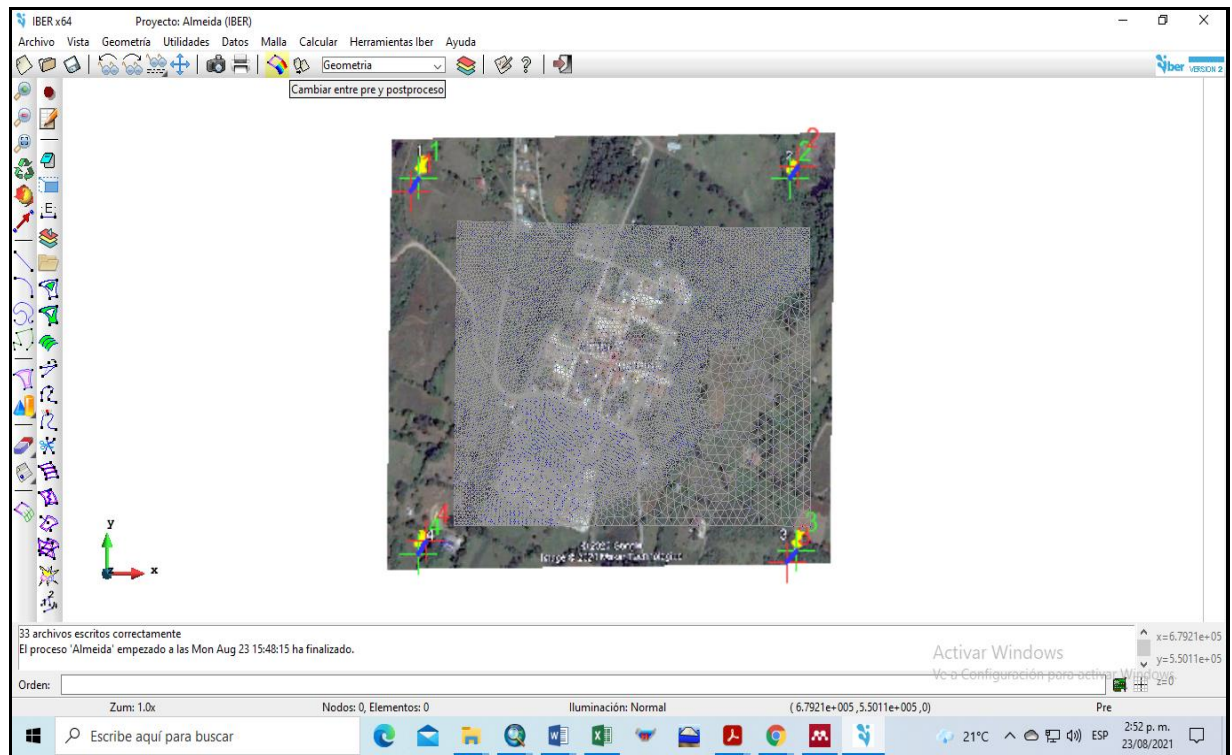
Se colocan los tiempos de cálculo.



Se realiza el cálculo.



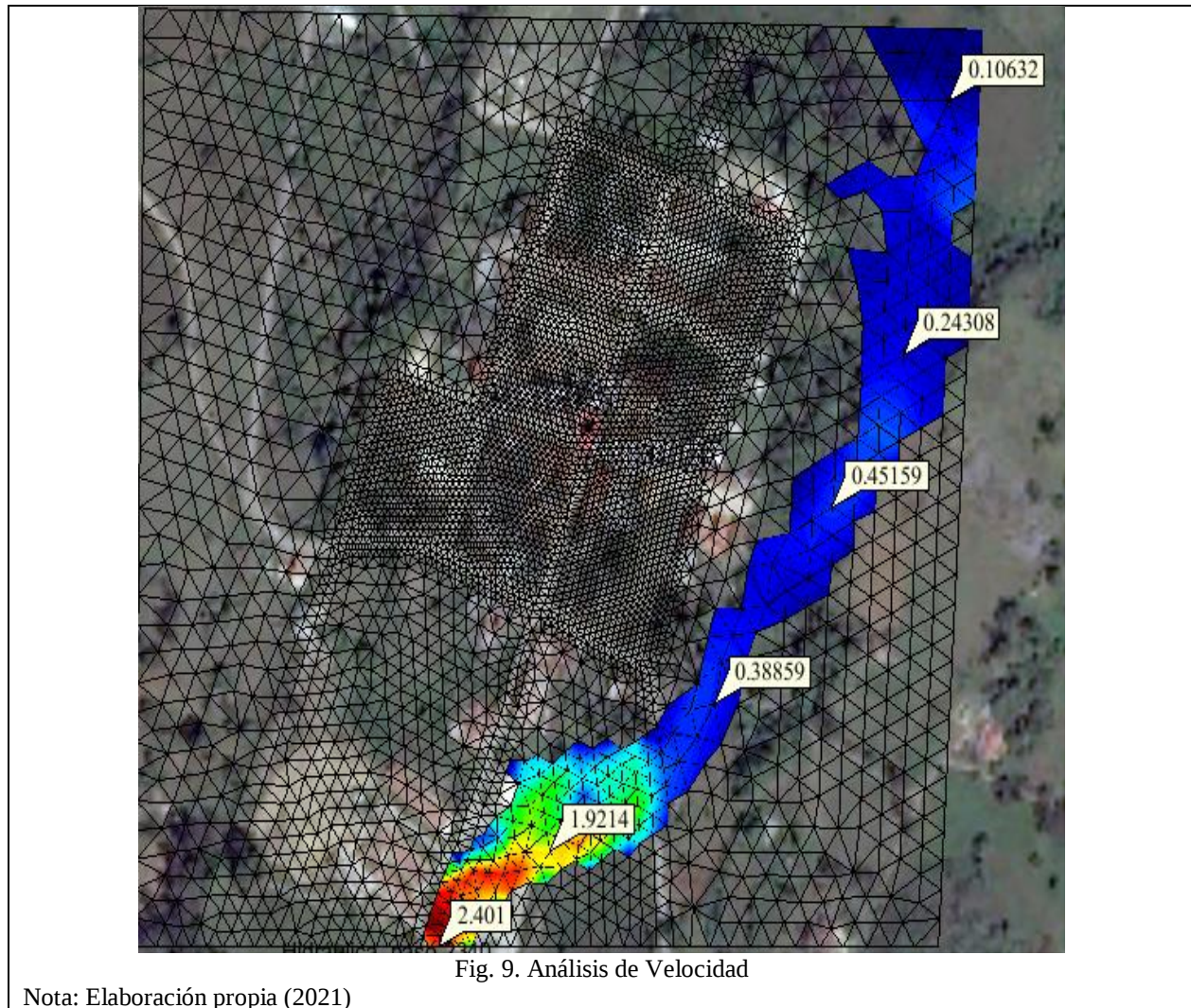
Se realiza el postproceso y se verifican los resultados.



VII. RESULTADOS

A. Modelización Hidrodinámica en Iber

1) Tiempo de Retorno de 20 Años



En lo que respecta a la imagen velocidad que corresponde a la figura 9, se puede observar que sus valores varían entre 0.38 y 0.10 m/s estos valores si pueden llegar a ser peligrosos, pero hay que analizar la zona de calados para determinar su riesgo, el comportamiento del agua varia por toda la sección por donde se transforma, esto puede ser por las características topográficas, ya que en algunas partes existirán más pendientes que en otras.

El peligro de inundabilidad es mínimo debido a que la sección analizada no es muy compleja, pero se puede realizar la comprobación en alguna sección.

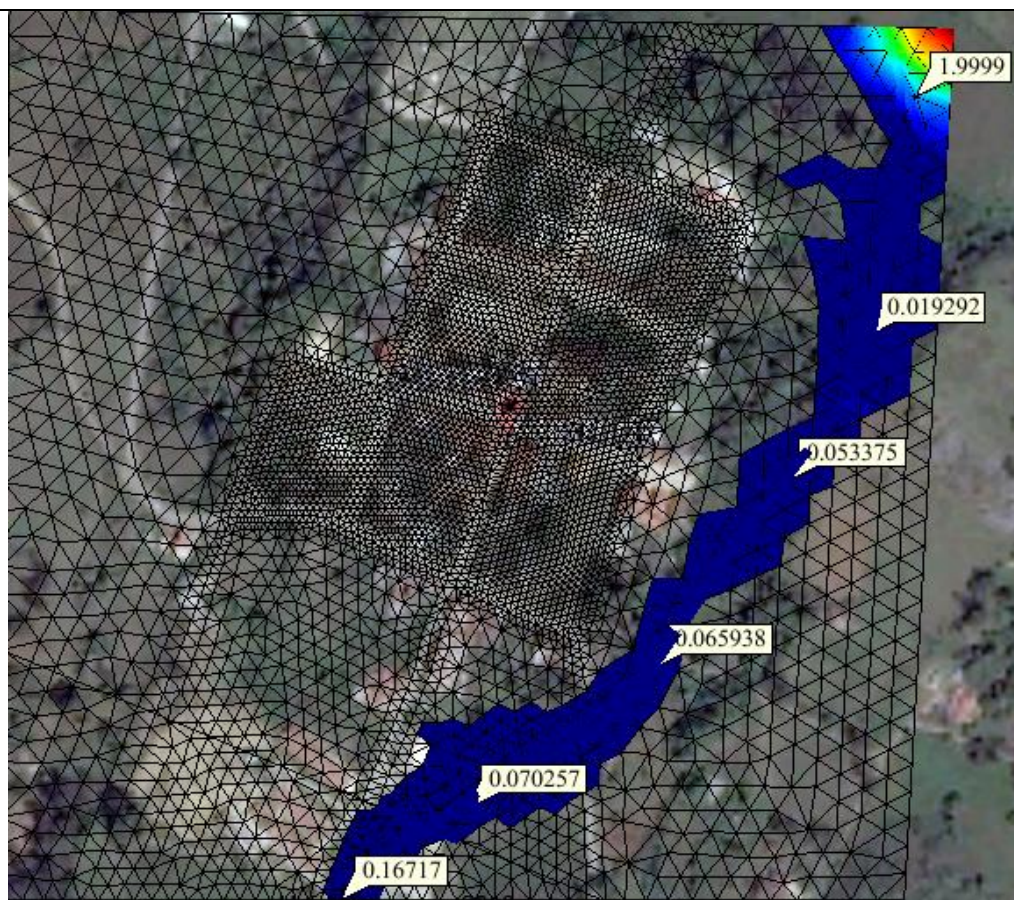


Fig. 10. Análisis de Calado

Nota: Elaboración propia (2021)

En las dos imágenes se pueden observar los aspectos más importantes para analizar la inundabilidad de una zona, en la imagen calado que corresponde a la figura 10, se observa que sus calados no son tan altos en la zona azul rondan valores de 0.16 a 0.01 m en la pradera pero en el estudio de inundabilidad se va a analizar más a detalle, el comportamiento del agua en la zona urbana no es demasiado activo, debido a la topografía del lugar, ya que existen pendientes altas las cuales no dejan inundar la zona.

El comportamiento del flujo de agua sigue las tendencias del río que se encuentra establecido por la cuenca, este aumenta su calado, pero no genera peligrosidad sobre el casco urbano de la zona de estudio.

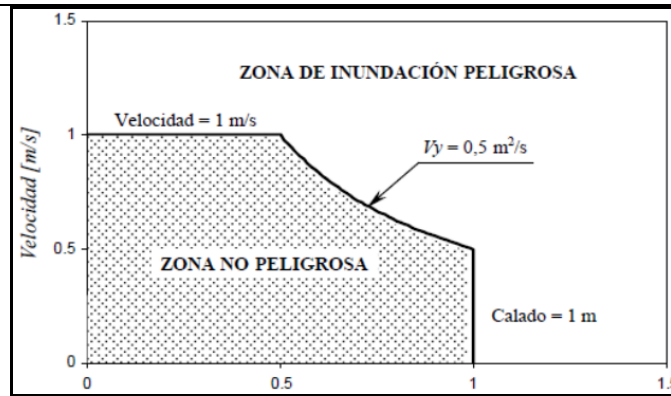


Fig. 11. Criterio para la delimitación de la zona de inundación peligrosa, según Témez (1992)
Fuente: Estudio de la laminación del canal de escorrentía de aguas pluviales en la urbanización los leandros (molina de Segura), Cartagena, Bolívar (2017).

De la anterior figura y basados en los cálculos hidráulicos se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa, con tiempos de retorno de 20 años.

$$V_y = 1.91 \text{ m/s} \cdot 0.070 \text{ m} = 0.13 \text{ m}^2/\text{s}$$

Criterios basados en la consideración conjunta de los calados y velocidades del flujo.

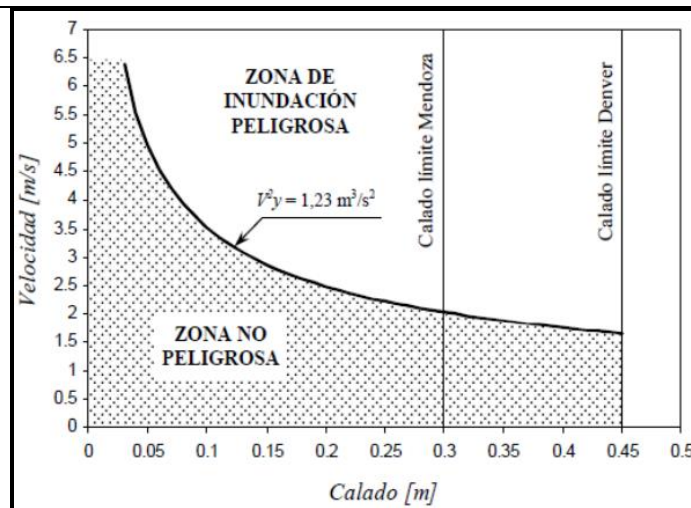
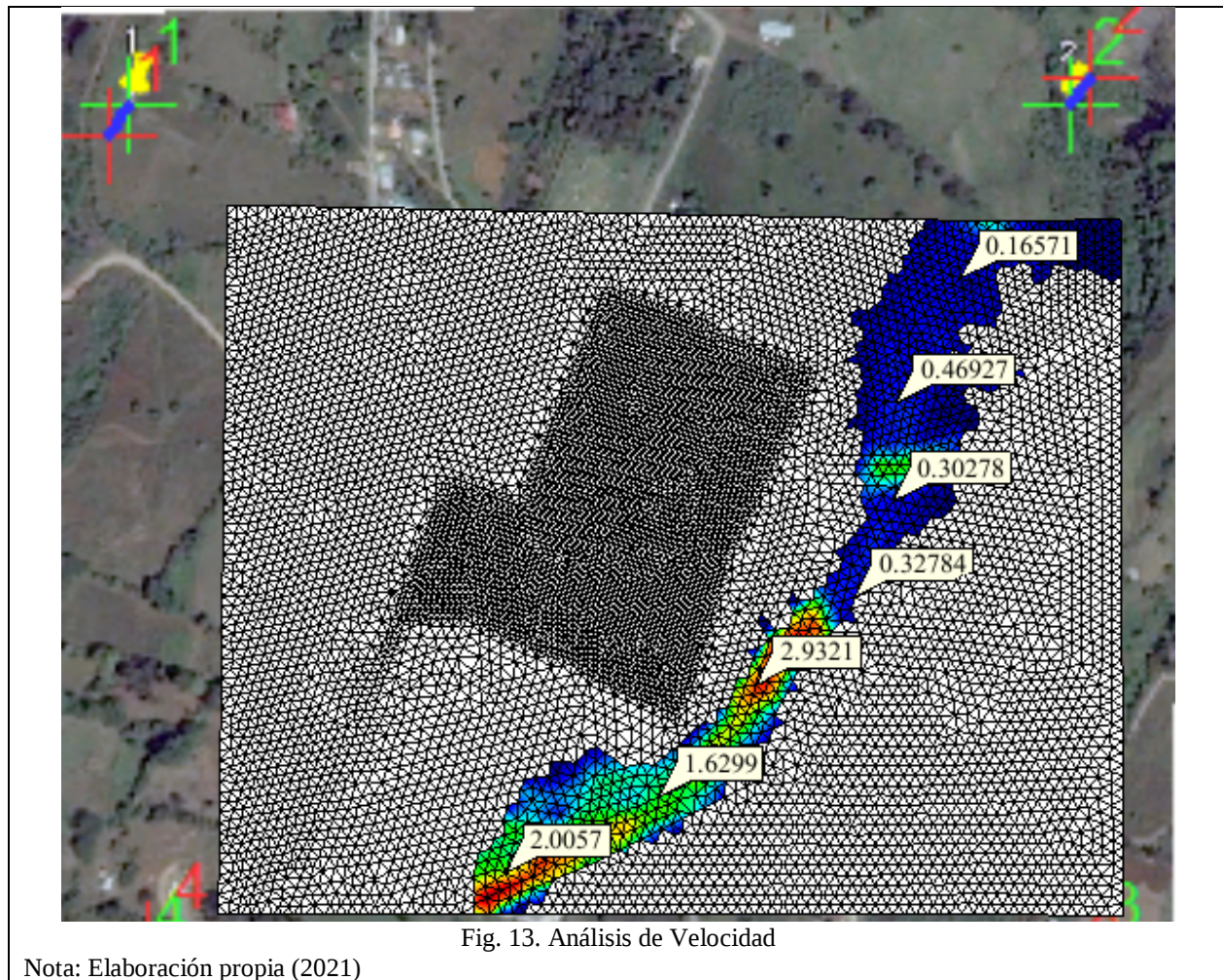


Fig. 12. Criterio propuesto para la delimitación de la zona de inundación peligrosa, según Nanía (1992)
Fuente: Hidrología Urbana, Manuel Gómez Valentín (2007)

$$V^2y = (1.91 \text{ m/s})^2 \cdot 0.070 \text{ m} = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

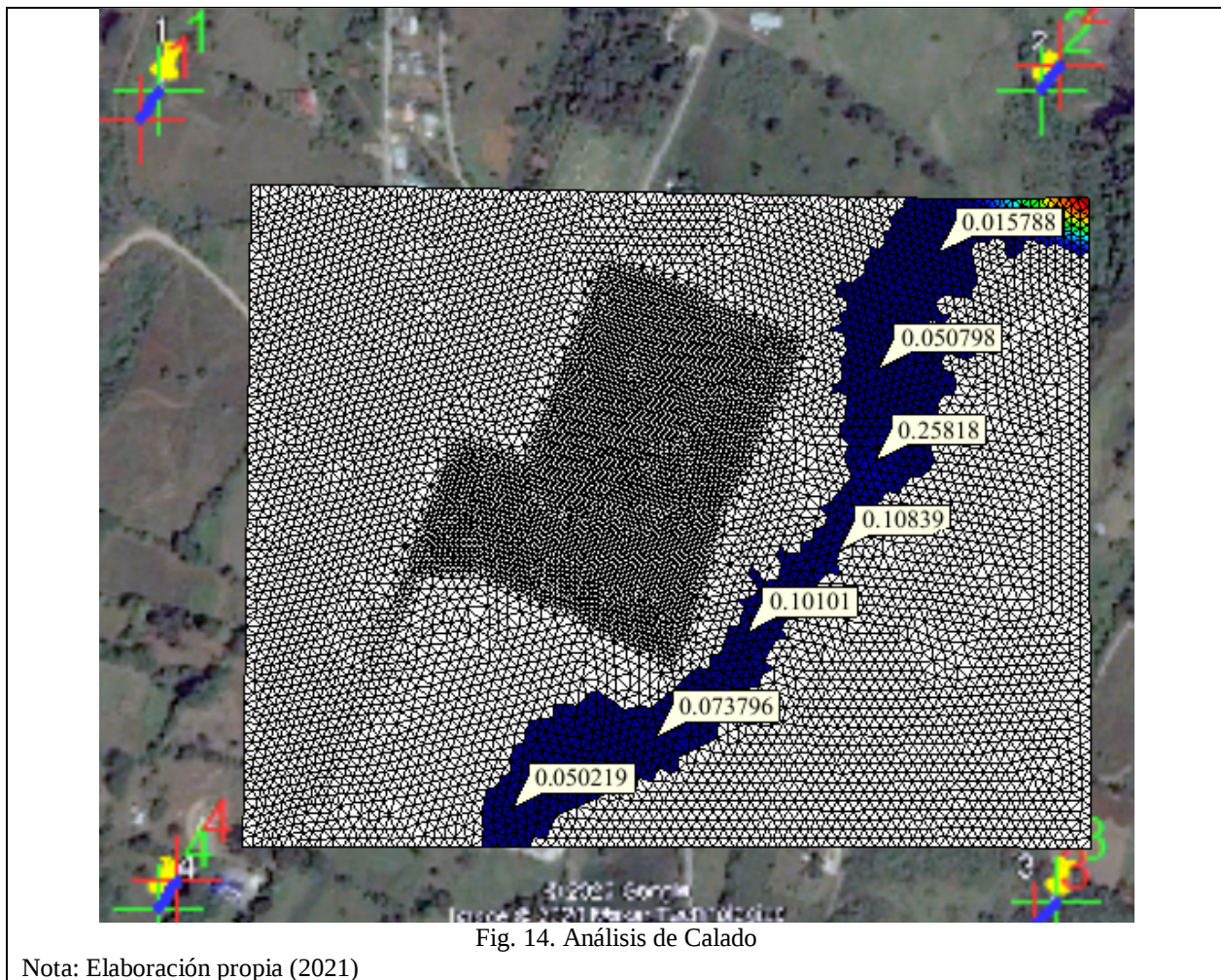
De la anterior figura y basados en los cálculos hidráulicos se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa.

2) Tiempo de Retorno de 50 Años



En lo que respecta a la imagen velocidad que se aprecia en la figura 11, se puede analizar que sus valores varían entre 2.0 y 0.16 m/s estos valores si pueden llegar a ser peligrosos, pero hay que analizar la zona de calados para determinar su riesgo, el comportamiento del agua varia por toda la sección por donde se transforma, esto puede ser por las características topográficas, ya que en algunas partes existirán más pendientes que en otras.

El peligro de inundabilidad es mayor debido a que aguas arriba del sitio analizado se pueden presentar avalanchas, que pueden generar un riesgo inminente sobre la población.



De la anterior gráfica y basados en el criterio de la figura 11, se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa, con tiempos de retorno de 50 años.

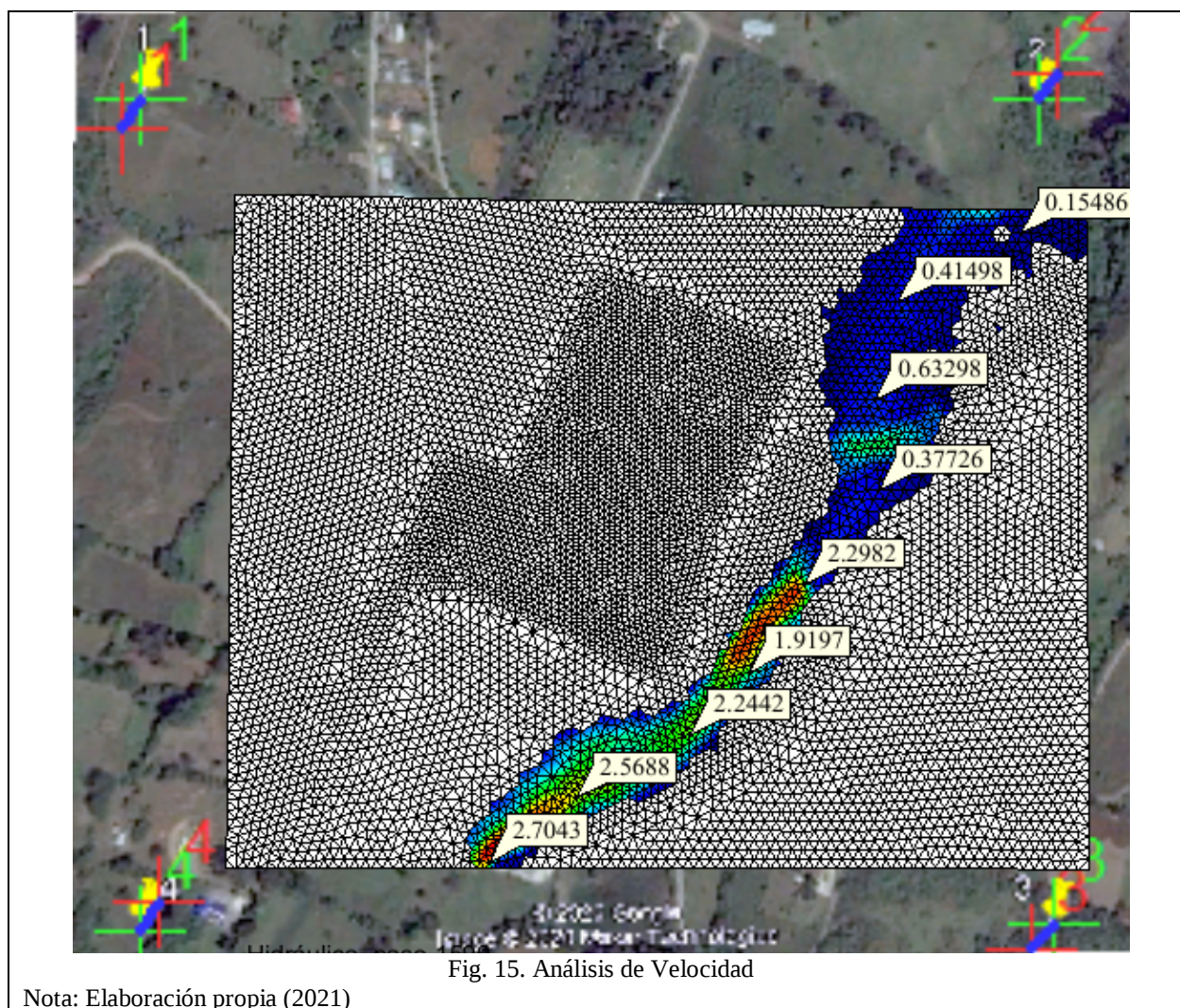
$$V_y = 2.0 \text{ m/s} \cdot 0.073 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^2/\text{s}$$

Criterios basados en la consideración conjunta de los calados y velocidades del flujo.

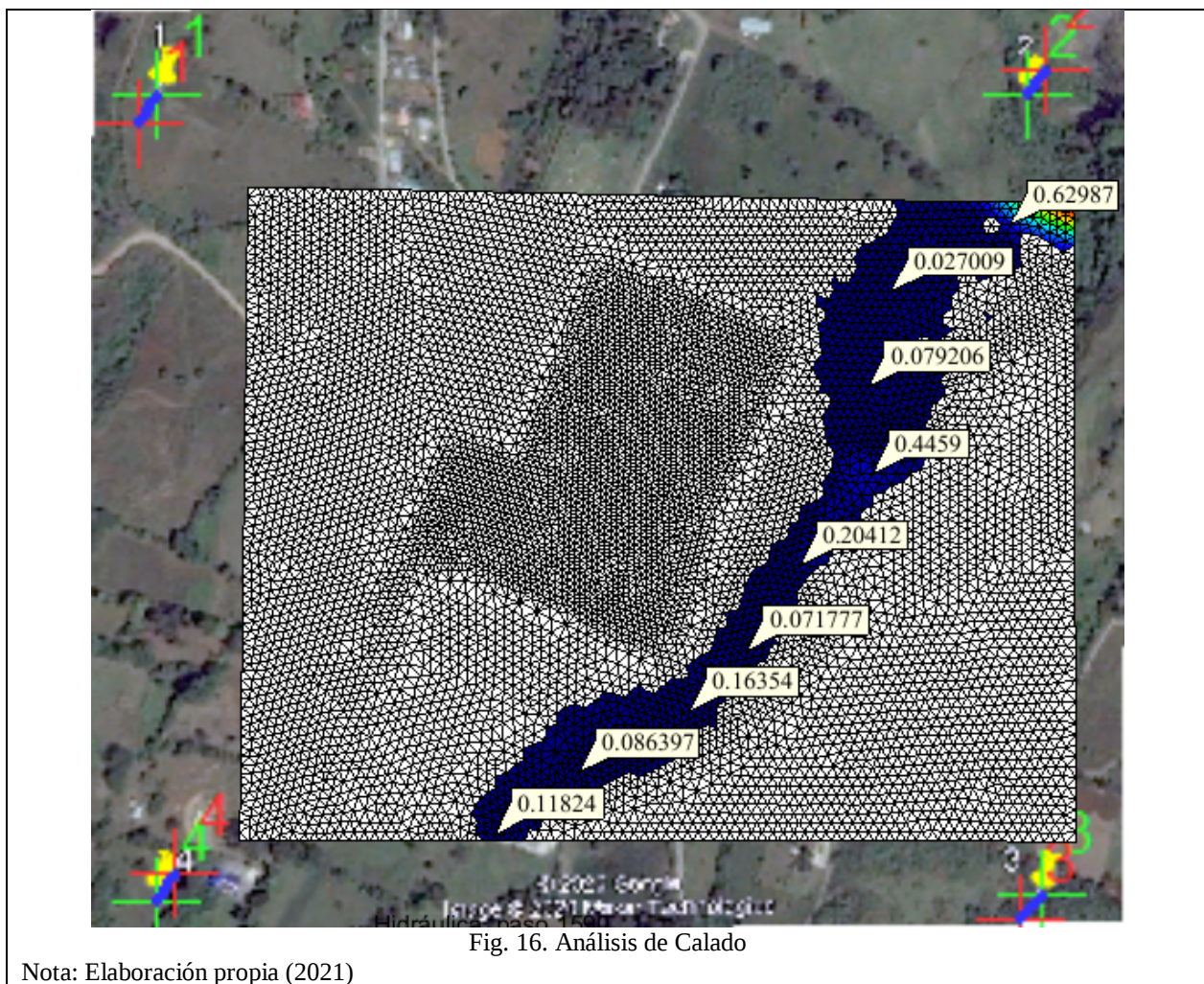
$$V^2_y = (2.0 \text{ m/s})^2 \cdot 0.073 \text{ m} = 0.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Teniendo en cuenta los criterios de la gráfica 12, se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa, aunque ya se presentan velocidades que pueden generar afectaciones sobre la infraestructura y las personas.

3) Tiempo de Retorno de 100 Años



En lo que respecta a la imagen de análisis de velocidad que se observa en la figura 15, se puede analizar que sus valores varían entre 2.7 y 0.41 m/s estos valores ya generan peligrosidades altas y riesgo sobre la infraestructura y la población, el comportamiento del agua varía por toda la sección por donde se transforma, esto puede ser por las características topográficas, ya que en algunas partes existirán más pendientes que en otras.



De la figura 16, y basados en los cálculos hidráulicos se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa, con tiempos de retorno de 100 años.

$$V_y = 2.7 \text{ m/s} \cdot 0.11 \text{ m} = 0.30 \text{ m}^2/\text{s}$$

Criterios basados en la consideración conjunta de los calados y velocidades del flujo.

$$V^2 y = (2.7 \text{ m/s})^2 \cdot 0.11 \text{ m} = 0.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la anterior gráfica y basados en los cálculos hidráulicos se puede concluir que no existe riesgo de inundabilidad peligrosa, aunque ya se presentan velocidades y calados que pueden generar afectaciones sobre la infraestructura y las personas.

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los tiempos de retorno de 20, 50 y 100 años, y según los criterios de las figuras 11 y 12, no se presentan amenazas por inundabilidad, pues no se encontró una situación de flujos muy rápidos y calados altos, que pudieran comprometer a las personas e infraestructura del casco urbano del municipio de Almeida (Boyacá).

Aunque el municipio no presenta registros históricos importantes por inundaciones y afectaciones sobre vidas humanas e infraestructura es importante la construcción de una berma de protección y ampliación de la recolección de aguas lluvias (colectores), con el fin de evitar posibles inundaciones.

Los resultados de este estudio contribuyen en la toma de acciones tempranas, con el fin de evitar que, durante un suceso de lluvia, se puedan causar afectaciones a la infraestructura, las personas, teniendo en cuenta las medidas predictivas que busquen propiciar el conocimiento del municipio para la planificación, la gestión del riesgo y la prevención de desastres.

Es importante obtener datos iniciales adicionales como la ortofoto y la topografía de la zona fundamental para el desarrollo del proyecto, pues sin estos datos es imposible realizar los modelos.

La información de las cuencas, que realizan aportaciones en un sitio de evaluación son importantes, existen numerosos softwares para la obtención de curvas de nivel y análisis de estas curvas, fundamentales para obtener el área y poder realizar los cálculos de los caudales en un punto de interés.

Los calados que se obtienen con los diferentes tiempos de retorno no son altos, pero se debe implementar en el casco urbano estructuras hidráulicas que evacuen rápidamente estos caudales por que un taponamiento de alguna estructura hidráulica, provocará que se generen emergencias tanto en la infraestructura como en la población

Se observan velocidades altas en la entrada al municipio debido a las pendientes presentadas, esta disminuye debido a la vegetación densa aguas abajo, por lo que el municipio no presenta peligrosidad debido a esta variable.

REFERENCIAS

- [1] H. Gonzalo Rivera, H. González Marentes, y. E. Domínguez Calle, H. Romero Pinzón, M. Fajardo Sierra, E. Zamudio Huertas, y M. C. C. González Hernández, Protocolos para la emisión de pronósticos hidrológicos. 2008.
- [2] L. M. Modeling et al., J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 26, n.o 3, pp. 1-4, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09706-3>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2017.09.008>
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117919>
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103116>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.004>
- [3] E. Bladé et al., «Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos», Rev. Int. Método Numérico, para Calculo y Diseño. en Ing., vol. 30, n.o 1, pp. 1-10, 2014, doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004.
- [4] F. Francésa y G. Bussib, «Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido», *Ribagua*, vol. 1, n.º 1, pp. 14-25, 2014, doi: 10.1016/s2386-3781(15)30004-9.
- [5] G. Mendizábal Bermúdez, «La seguridad social ante los retos del cambio climático», *Bol. Mex. Derecho Comp.*, vol. 2015, n.º 143, pp. 697-730, 2015, doi: 10.22201/ijj.24484873e.2015.143.4943.
- [6] M. F. Corradine, «Fase de diagnóstico 3. Caracterización físico-biótica de la cuenca 3.5 Morfometría», *Actual. POMCA Río Garag.*, n.º 100, pp. 1-33, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2015/11/3.5.-Morfometría-1.pdf>.
- [7] D. M. De Cuencas y B. L. Cardona, Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.
- [8] Corporación Autónoma Regional de Chivor, «Atlas Geográfico y Ambiental de CORPOCHIVOR,» Tunja, 2010.
- [9] B. Lux Cardona, «Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas», Maestría. en Energía y Ambiente., p. 8, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%0Abásicos%0Ade%0AMorfometría%0ACuencas%0AHidrográficas.pdf>
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%0Abásicos%0AHidrográficas.pdf>
- [10] M. Verdugo Cardenas, «Estudios Morfométricos y Análisis de Inundación del Río Cumbe,

- Provincia del Azuay; Mediante los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) Con La Herramienta Georas Y El Programa Hecras.», pp. 1-48, 2019.
- [11] A. Cañibano, P. Sastre Vazquez, y R. D Andrea. Área y Perimetro para la caracterización de formas, Argentina., 2016.
- [12] E. Domínguez, «Cálculo de parámetros morfométricos», Bogotá, D.C., 2010.
- [13] G. Narváez y G. León, «Caracterización y Zonificación Climática de la Región Andina», Meteorología. Colombiana., n.o 4, pp. 121-126, 2001.
- [14] Documento metodológico estadísticas variables meteorológicas metodología de la operación estadística variables meteorológicas instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM, Subdirección de Meteorología.
- [15] Guía metodológica de la operación estadística variables meteorológicas código: m-gdi-m-g002 anexo 2 definiciones del catálogo nacional de estaciones Categorías de las estaciones, IDEAM. pp. 1-2, 2019.
- [16] <https://www.significados.com/precipitacion/> (accedido sep. 11, 2021).
- [17] A. Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc., pp. 1-5, 2014.
- [18] J. Fernanda, E. Gabriela, M. Raúl, y L. Ventana, «Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina», Rev. la Fac. Ciencias Agrar., vol. XXXIX, n.o 1, pp. 21-28, 2007.
- [19] N. Francisco-Nicolás, A. Turrent-Fernández, H. E. Flores-López, M. Roberto, y M. Javier, «Estimación Del Escurrimiento Superficial Con El Método Scs-Cn En El Trópico Subhúmedo De México», Terra Latinoamérica., vol. 28, n.o 1, pp. 71-78, 2010.
- [20] S. Lavao y J. Corredor, «Aplicación De La Teoría Del Número De Curva (Cn) a Una Cuenca De Montaña. Caso De Estudio: Cuenca Del Río Murca, Mediante La Utilización De Sistemas De Información Geográfica», Univ. Mil. Nueva Granada, vol. 10, n.o 2, pp. 1-48, 2014.
- [21] J. J. Vélez Upegui y A. Botero Gutiérrez, «Estimación del Tiempo Concentración y De Rezago en la Cuenca Experimental Urbana de la Quebrada San Luis, Manizales», Dyna, vol. 165, pp. 58-71, 2010, [En línea]. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>.