

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Propuesta metodológica para el estudio de inundaciones mediante lenguaje de programación visual Model Builder en la ciudad de Chiclayo urbano

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Yorghiño Elimar Mejia Caro

ASESOR

Carlos Rafael Tafur Jiménez

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

Chiclayo, 2023

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	acolita.com Fuente de Internet	2%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	revistas.ustatunja.edu.co Fuente de Internet	1%
6	repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	1%
7	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	worldwidescience.org Fuente de Internet	1%
9	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	1%

ÍNDICE

Resumen	3
Abstract	5
1 Introducción	6
2 Metodología	7
2.1 Selección de Datos	7
2.2 Distribución de probabilidad para serie de máximos anuales:	7
2.2.1 Distribución de Gumbel:.....	7
2.3 Herramientas de geoprocésamiento Model Builder	9
2.3.1 Creación del DEM	9
2.3.2 Creación de Pendientes.....	10
2.3.3 Dirección de flujo y acumulación de flujo	11
2.3.4 Creación de IDW-Precipitaciones	12
3 Resultados	12
3.1 Metodo de Gumbel	12
3.2 Aplicación de Model Builder	14
4 Conclusiones	16
5 Referencias bibliográficas	16

Resumen

A nivel global, las inundaciones son uno de los peligros naturales más frecuentes debido a los repentinos cambios climáticos causando grandes pérdidas económicas y sociales en las poblaciones vulnerables. Asimismo, debido a la topografía y relieve que presentan dichas localidades, es probable que existan zonas vulnerables a inundaciones que podrían causar daños a los sistemas de saneamiento, infraestructuras y servicios generales como salud y luz, estos problemas aún no se han visto solucionados debido a la mala gestión municipal que presentan en la ciudad de Chiclayo, Debido a los riesgos evaluados durante los últimos años se vienen implementando nueva metodologías para la gestión de riesgo por inundaciones causadas por los diferentes fenómenos del niño. Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio de inundaciones utilizando un método de lenguaje de programación visual que permita la visualización de pendientes, flujos de agua, zonas vulnerables y precipitaciones en dicha zona de estudio.

Palabras clave: Zonas inundables, Model Builder, SIG, precipitación

Abstract

Globally, floods are one of the most frequent natural hazards due to sudden climate changes causing great economic and social losses in the affected populations. Also, due to the topography and relief that these locations present, it is likely that there are areas vulnerable to flooding that could cause damage to sanitation systems, infrastructures and general services such as health and light, these problems have not yet been solved due to due to the municipal mismanagement that they present in the city of Chiclayo. Due to the risks evaluated in recent years, new methodologies have been implemented for risk management due to floods caused by the different phenomena of El Niño. This work aims to carry out a flood study using a visual programming language method that allows the visualization of slopes, water flows, vulnerable areas and rainfall in said study area. Finally, the article presents the general characteristics of a methodological proposal for the evaluation of flooding in the central Chiclayo district from the evaluated method, using the available information.

Keywords: flood zones, Model Builder, SIG

1 Introducción

En la actualidad, para la predicción de posibles tormentas, inundaciones, sequías entre otros eventos meteorológicos, se aplican métodos hidrológicos con los cuales se analiza cuál es la probabilidad de que ocurra un evento extremo teniendo en cuenta las características físicas de la zona de estudio. Las distribuciones de probabilidad nos permiten analizar cuál es la posibilidad de que ocurran estos eventos. Éstas son funciones matemáticas que relacionan la magnitud de un evento con su probabilidad de ocurrencia [1].

Debido a los constantes cambios climáticos que han sucedido hasta la actualidad, se han producido constantes fenómenos naturales. La ocurrencia de los desastres es uno de los factores que mayor destrucción causa debido a la ausencia de medidas u acciones [2]. Las inundaciones en el Perú son un problema son un problema recurrente y esto se debe principalmente a la estacionalidad de las precipitaciones [3].

Para la realización de un buen análisis de frecuencias, es necesario saber seleccionar apropiadamente, cual es la distribución de probabilidad necesaria que pueda representar los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas. Para dicho análisis se debe tener en consideración los siguientes puntos [4]:

- Los eventos hidrológicos extremos son variables aleatorias que pueden expresarse por medio de una distribución de probabilidad.
- Si no existe relación entre la magnitud de cada evento y los eventos previos, esto implica que los eventos extremos en la serie son independientes entre sí.
- La distribución de probabilidad que describe el proceso se mantiene constante a lo largo del tiempo y no se ve afectada por la magnitud de la variable.

Según varios autores, las distribuciones más utilizadas en hidrología son la normal, log-normal, Gumbel, Weibull, General de Valores Extremos (GVE), Pearson y Log-Pearson tipo 3 [5], [6], [7]. Los valores obtenidos de las distribuciones van a diferir una con otras, lo que se recomienda realizar un ajuste de bondad a cada resultado y seleccionar la que se ajusta mejor.

ModelBuilder es un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. Los modelos de geoprocésamiento automatizan y documentan los procesos de análisis espacial y de administración de datos. En ModelBuilder, los modelos de geoprocésamiento se crean y editan mediante la representación de un diagrama que conecta

secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento. La salida de un proceso se utiliza como entrada para otro, permitiendo así la cadena de procesamiento.[8].

2 Metodología

2.1 Selección de Datos

Para este estudio comparativo, se tomó como base los datos de precipitación registrados en la estación meteorológica de Reque, el cual tiene registros históricos de hace 53 años, analizando cuales fueron los eventos donde ocurrieron mayores precipitaciones. Luego se procedió a extraer la información hidrológica con la finalidad de obtener las precipitaciones máximas con su respectiva duración y convertirlas a través de funciones de distribución en intensidades de precipitación.

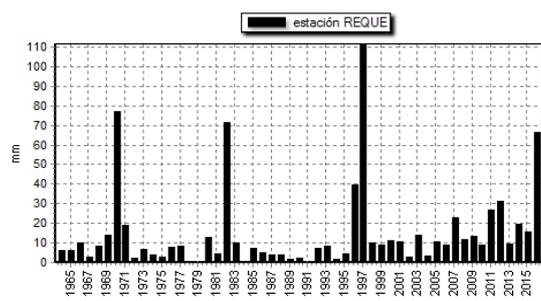


Figura 1. Serie de máximos anuales de la estación Reque

Fuente: El Autor

2.2 Distribución de probabilidad para serie de máximos anuales:

2.2.1 Distribución de Gumbel:

Es la distribución utilizada de mayor frecuencia en series de máximos anuales de valores extremos Tipo I (EV1), conocida como Gumbel, su ecuación es de doble exponencial y su función de densidad de probabilidad es [4]:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} * e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} * e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}$$

Dónde:

α : Parámetro de escala

μ : Parámetro de localización

x se encuentra en el rango de valores de $-\infty \leq x \leq +\infty$, entonces la función de distribución acumulada de Gumbel es:

$$F(x) = \int f_x(x)dx = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}}$$

Para estimar los parámetros se usará el método de L-momentos, Según Beguería, nos dice que este método analiza los momentos ponderados por probabilidad a través de combinaciones lineales. En la distribución de Gumbel, se obtiene las siguientes expresiones de estimación de parámetros [4]:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s$$

$$\mu = \bar{x} - \gamma * \alpha$$

Dónde:

s : desviación estándar de los valores de la muestra

γ : constante de Euler-Mascheroni=0.577215...

\bar{x} : Media aritmética de la muestra

Para el cálculo del Factor de frecuencia para la distribución de valor extremo Tipo I se utiliza la siguiente ecuación [9]:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} * \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Dónde:

T : Periodo de retorno

Siendo una formula simlificado con respecto a los parametros α y μ la que se muestra a continuación:

$$K_T = \mu + \alpha * \left\{ -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

2.3 Herramientas de geoprocamiento Model Builder

Esta herramienta nos permite construir flujos de trabajos tanto sencillos como avanzados, eso dependerá de las necesidades de cada zona de estudio. Posee una interfaz sencilla de manejar con opciones desplegadas que facilitan la elaboración de estos modelos de manera mas rápida. Al iniciar se presenta como una pantalla con espacio en blanco, el cual nos permite ver los geoprocamos y operaciones utilizadas por el profesional.

En la siguiente imagen se puede apreciar un modelo construido con la herramienta Model Builder, se procede a realizar un modelo de elevación de área de estudio con lo cual nos ayudará luego para el cálculo de pendientes y la dirección de flujos de agua.

2.3.1 Creación del DEM

Un DEM es una representación ráster de una superficie continua que normalmente hace referencia a la superficie de la Tierra. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución (la distancia entre los puntos de muestra). [8]

Se procede a realizar un modelo de elevación del área de estudio para crear una capa de la cual, nos va a poder ayudar para la elaboración de otros procesos en Model Builder. Esta herramienta nos permite mejorar los modelos de elevación digital, esto se debe a un remuestreo de valores erróneos corrigiendo con los valores medios de las celdas adyacentes.

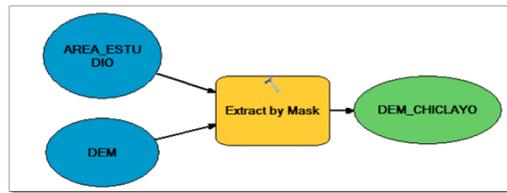


Figura 2 Creación del DEM de la zona de estudio

Fuente: El autor

Se realiza una compensación de datos de las áreas que no poseen data, los cuales son errores del satélite debido a la nubosidad de la zona. con las herramientas ArcToolbox nos da la opción de configurar un relleno para los pixeles que presenten nubosidad en la imagen satelital. Para configurar el DEM realizamos el siguiente proceso:

ArcToolbox < Espacial Analyst Tools < Surface < Cut Fill

El resultado final es un DEM con los errores corregidos referente a la nubosidad

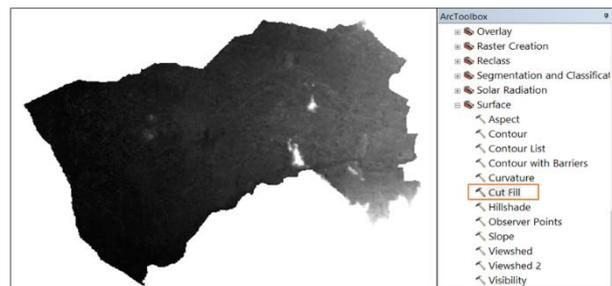


Figura 3 DEM Configurado-nubosidad

Fuente: El autor

2.3.2 Creación de Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje [10]. Se procede a realizar un modelo para las pendientes del área de estudio para posteriormente crear una capa en la herramienta Model Builder

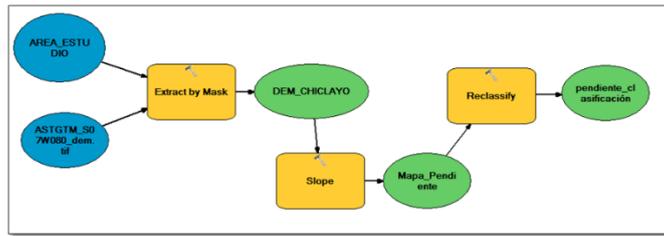


Figura 4 Model Builder- creación pendientes

Fuente: El autor

Para configurar las pendientes (slope) realizamos el siguiente proceso:

ArcToolbox < Espacial Analyst Tools < Surface < Slope

2.3.3 Dirección de flujo y acumulación de flujo

Con el DEM ya corregido podemos determinar los flujos de agua. La dirección del flujo determina la dirección en la que el agua fluirá en una celda dada. Para determinar esta dirección, evaluamos el descenso más significativo en cada celda. Además, calculamos la diferencia de valores de elevación (Z) y la pendiente (slope) entre las celdas adyacentes.[11].

Para configurar el flujo de agua (Flow direction) realizamos el siguiente proceso:

ArcToolbox < Espacial Analyst Tools < Hydrology < Flow Direction

Cuando se ejecuta el algoritmo de dirección del flujo, los valores resultantes oscilan entre 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128. En el diagrama de ocho direcciones del modelo de punto de fluidez, se puede entender en qué dirección de flujo se desplaza el agua [11].

La herramienta Flow accumulation nos va a calcular el flujo que esta acumulado en todas las celdas con pendiente negativa, en el caso que no se indique un peso, se aplicara por defecto el valor de 1 a cada celda y luego cuantas celdas son las que llegan a esta celda. La imagen superior izquierda muestra la dirección de viaje desde cada celda y la superior derecha el número de celdas que fluyen hacia cada celda.

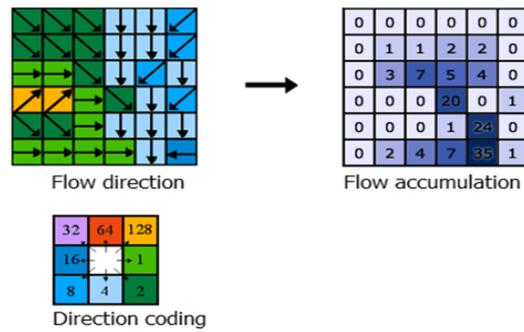


Figura 5 Acumulación de flujo

Fuente: Manual ArcGis

2.3.4 Creación de IDW-Precipitaciones

La herramienta IDW, conocida como Ponderación de Distancia Inversa, emplea un enfoque de interpolación para estimar los valores de las celdas mediante la obtención de promedios de los valores de los puntos de datos de muestra que se encuentran cerca de cada celda durante el proceso de cálculo .

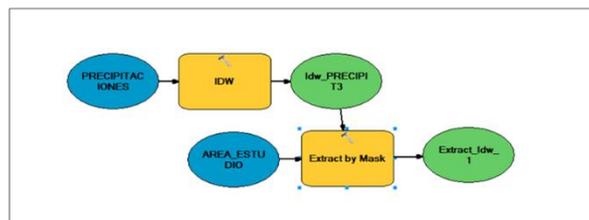


Figura 6 Model Builder- IDW Precipitaciones

Fuente: El autor

3 Resultados

3.1 Metodo de Gumbel

El valor calculado de la desviación estándar es:

$$s = 25.896$$

El valor calculado del promedio aritmético es:

$$\bar{x} = 19.785$$

Calculo de la variable α :

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * 25.896$$

$$\alpha = 20.191$$

Calculo de la variable μ :

$$\mu = \bar{x} - \gamma * \alpha$$

$$\mu = 19.785 - 0.577 * 25.896$$

$$\mu = 8.130$$

Tabla 1

PERIODO				
DE				X
RETORNO	YI	XI	F(x)	corregido
2	0.37	15.53	0.50	17.86
5	1.50	38.42	0.80	44.18
10	2.25	53.57	0.90	61.60
25	3.20	72.71	0.96	83.62
50	3.90	86.92	0.98	99.95
75	4.31	95.17	0.99	109.45
100	4.60	101.01	0.99	116.17
250	5.52	119.58	1.00	137.51
500	6.21	133.59	1.00	153.63
1000	6.91	147.60	1.00	169.74

Calculo del K_T para diferentes periodos de retorno:

Según teoría a los valores de K_T calculados se le aplica un factor de confianza del 15%.

Se procederá a calcular la precipitación máxima para diferentes tiempos de duración de acuerdo a los porcentajes de precipitación en 24 horas.

3.2 Aplicación de Model Builder

A través del análisis de las imágenes ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) y las herramientas model builder, podemos obtener diferentes procesos que nos ayudaran en nuestro estudio de inundaciones, se analizó las imágenes satelitales donde se encontraban el área de estudio, una vez realizado el análisis de las imágenes, después de obtener el DEM recortado, se observó que presentaba nubosidad en algunas zonas, la cual se pudo remover extrayendo un Fill cut en la imagen, una vez corregido los errores en la imagen se procedió a obtener las pendientes del terreno, las cuales se dio una clasificación por colores según su porcentaje. Una vez realizado el proceso, los resultados obtenidos del mapa de pendiente que las zonas que son susceptibles a inundaciones son las más bajas las cuales están representado en un tono de color verde, en cambio las zonas altas donde son las zonas de parte sierra presentan las zonas mas altas y con pendientes mayores las cuales están representadas con un tono de color rojo.

Se continuo con el proceso para poder verificar cual va a ser la dirección del flujo de agua y en donde se acumula la mayor cantidad de agua en precipitaciones. Según el diagrama de 8 direcciones, si una celda tiene el valor mínimo en comparación a los 8 restantes, a dicha celda se le da el valor más bajo y el flujo va ser definido hacia la dirección de la celda. La herramienta Flow Direction nos va a ayudar a ubicar hacia donde tiende a ir el agua a través de las precipitaciones hacia las pendientes negativas.

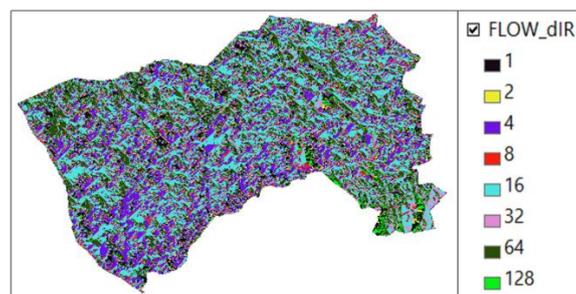


Figura 7 Flow direction aplicado a la zona de estudio

Para la obtención del mapa de precipitaciones, se debe importar en un Excel con las coordenadas de las estaciones cercanas a la zona con las precipitaciones de un año de estudio, una vez exportado, se hace un IDW para realizar una ponderación en el área y luego con una extracción a través de una máscara, podemos obtener un resultado con las precipitaciones en el área de interés

Tabla 2

FID	SHAPE	ESTACIÓN	ALTURA	X- COOR D	Y- COOR D	Precipitación mensual
1	point	REQUE	13	6°53'1 0.07" S	79°50'7 .8" W	111.7
2	point	LAMBAY EQUE	18	6°44'3 .75" S	79°54'3 5.4" W	116.22
3	point	JAYANCA	78	6°19'5 3.73" S	79°46'7 .29" W	539.1
4	point	SIPAN	87	6°48'5 .08" S	79°36'. 07" W	752.7
5	point	CAYALTI	90	6°52'5 0.86" S	79°32'4 9.25" W	292.33
6	point	OYOTUN	187	6°51'5 0.2" S	79°19'1 4.22" W	644.6
7	point	OLMOS	124	5° 32' 8.82" S	79° 59' 2.93" W	1216.45

Datos de estaciones meteorológicas próximas al área de estudio

Para la obtención del mapa de vulnerabilidad es necesario obtener las 4 capas anteriores de DEM, pendiente, flujos de agua y precipitaciones, en las herramientas ArcToolbox buscaremos el comando Weighted Sum, en la cual se hará una multiplicación de las capas con un porcentaje

que le correspondería a cada uno según la normativa o ley de cada país. Finalmente se le da una reclasificación de sus valores y se le asigna una etiqueta de color para identificar las zonas vulnerables a inundaciones.

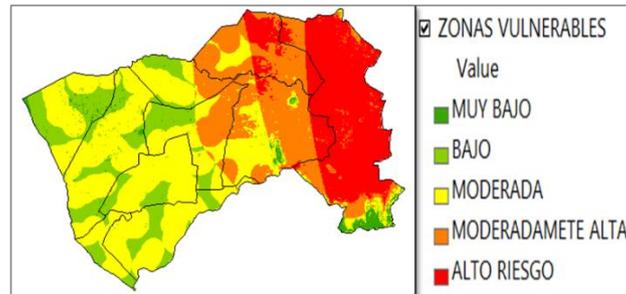


Figura 8 Mapa de Vulnerabilidad

Fuente: El autor

4 Conclusiones

La presente investigación nos permite determinar un estudio de inundaciones a través de Model builder, el cual es una metodología que nos permite clasificar imágenes satelitales y obtener resultados de manera rápida y eficiente. Esta metodología utilizada hace uso de imágenes satelitales y datos meteorológicos de libre acceso. El análisis para la detección de áreas inundables con model builder fue una herramienta apropiada para la identificación de pendientes y zonas vulnerables a inundaciones.

Chiclayo al encontrarse en una zona costera amplifica la peligrosidad a los eventos de inundaciones, por esto es necesario hacer un mapeo en las zonas inundables probables, por eso con ayuda de esta investigación es necesario una zonificación de las áreas inundables y ver la peligrosidad probable para poder mitigarlo.

5 Referencias bibliográficas

- [1] S. B. González Fiagá y H. Rincón González, «Metodología para el ajuste de modelos de valor extremo tipo I (gumbel) y log pearson tipo III, para series de valores máximos,» Universidad Santo Tomás, 2011.

- [2] CENEPRED, «Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el sector 1, distrito de Santa Rosa,» Chiclayo, 2018.
- [3] M. Á. B. Bonilla, «TENDENCIAS DE RIESGO ASOCIADAS A INUNDACIONES,» Lima, 2020.
- [4] S. Bergueria, «Revisión de métodos paramétricos para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos en climatología e hidrología: El uso de series de excedencias y su comparación con las series de máximos anuales.,» zaragoza, 2002.
- [5] D. R. Maidment, Handbook of Hydrology, in chief, 1992, pp. 1423-1424.
- [6] A. H, «Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis,» *Turkish Journal of Engineering and Environmental Scienses*, vol. 24, nº 6, pp. 419-428, 2000.
- [7] F. A. Mijares, Fundamentos de Hidrologiía de superficie, Mexico D.F: Grupo Limusa Noriega editores, 2005.
- [8] ESRI, «ARCGIS PRO,» [En línea]. Available: [https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm#:~:text=Un%20DEM%20es%20una%20representaci%C3%B3n,entre%20los%20puntos%20de%20muestra\)..](https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm#:~:text=Un%20DEM%20es%20una%20representaci%C3%B3n,entre%20los%20puntos%20de%20muestra)..) [Último acceso: 28 Abril 2023].
- [9] V. T. chow, hidrología aplicado, McGraw-Hill, 1993, p. 580.
- [10] W. Mora Mariño y R. Gilberto Ochoa, «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,» UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, Boyacá, 2016.
- [11] Gabri, «www.acolita.com,» ARCGEEK, 17 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://acolita.com/flow-direction-calcula-la-direccion-del-agua-usando-la-pendiente/>. [Último acceso: 02 abril 2023].