

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

**SWMM PARA MODELACION Y SIMULACION DE INUNDACIONES
URBANAS**

BRAYAN ANDRES MELCHAN RODRIGUEZ

DIANA MARCELA VILLAMIZAR ACEVEDO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

DIPLOMADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y HERRAMIENTAS APLICADAS
EN RECURSOS HÍDRICOS

2021

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

**SWMM PARA MODELACION Y SIMULACION DE INUNDACIONES
URBANAS**

AUTORES

BRAYAN ANDRES MELCHAN RODRIGUEZ

DIANA MARCELA VILLAMIZAR ACEVEDO

PRESENTADO PARA OPTAR EL TITULO DE: INGENIERA CIVIL

DIRECTOR

ING. DIEGO IVAN SANCHEZ TAPIERO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA-COLOMBIA

2021

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
¿Qué son las inundaciones?	7
Inundación por desbordamientos	11
Inundación por encharcamiento	11
Inundaciones por reflujo	11
Inundación por rompimiento de jarillones o presas	12
Inundaciones por marejadas	12
Inundaciones rápidas y torrenciales	12
Inundaciones en América latina	16
Inundaciones urbanas en Colombia	20
CAPITULO II: EPA SWMM	25
¿Qué es el EPA SWMM?	25
Principales características del modulo hidrológico	28
Principales características del módulo hidráulico.	28
Principales características del módulo de calidad	29
Aplicaciones más usadas en EPA SWMM	29
CAPITULO III. EPA SWMM PARA LAS SIMULACION Y MODELACION DE	
INUNDACIONES URBANAS	33

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CAPITULO IV. EPA SWMM PARA LAS SIMULACION Y MODELACION DE INUNDACIONES URBANAS EN LA CIUDAD DE CÚCUTA.	43
CONCLUSIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	58

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones consideradas eventos naturales que han causado a lo largo del tiempo catástrofes de diferente magnitud por la falta de políticas, concientización y respeto con los recursos naturales y el uso irresponsable del sistema de drenaje urbano, han agravado el impacto destructivo en los diferentes ecosistemas, en estructuras públicas y privadas afectando la existencia y el bienestar de la comunidad. El presente trabajo titulado SWMM PARA LA SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE INUNDACIONES URBANAS da a conocer en el primer capítulo la conceptualización, clasificación de las inundaciones, haciendo énfasis en los factores que las determinan. Se hace una breve descripción de las inundaciones en Latinoamérica, en Colombia y se profundiza en las inundaciones pluviales urbanas. de manera que el lector tenga una visión genérica de este evento.

En el segundo capítulo se tienen en cuenta los conceptos que manejan diferentes científicos sobre el desarrollo, aplicación y eficacia del software libre EPA SWMM 5.1, haciendo énfasis, del uso y manejo adecuado de los modelos que lo componen y las características que le son propias.

En el tercero y cuarto capítulo se muestra la aplicabilidad del software EPA SWMM mediante la simulación y modelación de inundaciones urbanas de carácter general, con incidencia en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander, debido a la impermeabilización en gran parte de la zona en estudio, agravada por la urbanización que impide la infiltración de escorrentía. También, la deficiente capacidad del sistema actual de alcantarillado sanitario, ya que el municipio no tiene una red de alcantarillado pluvial, empeoran aún más la problemática, que hace evidente la necesidad de efectuar medidas para reducir eventos urbanos con ayuda del

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

software EPA SWMM, asimilado como modelación hidrológica e hidráulica con diversos diagnósticos que pueden ser evaluados y aplicados para la ciudad de Cúcuta dando solución a la problemática de las inundaciones urbanas.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CAPÍTULO I: INUNDACIONES

¿Qué son las inundaciones?

La inundación es la ocupación temporal de agua en áreas donde habitualmente no se encuentra, afectando diversas extensiones de tierra, lo que causa impacto en las poblaciones y en los recursos naturales. (IDEAM , 2021) En otras palabras, las inundaciones son acontecimientos hidrometeorológicos recurrentes en el mundo entero, ocurridos desde la antigüedad, que son ocasionados generalmente por evento natural, socio natural y antrópico. (Paniagua, 2013) De hecho, las amenazas hidrometeorológicas naturales, en los que se destacan los cambios bruscos de temperatura, generación de corrientes de aire, lluvias excesivas, ríos caudalosos, crecimiento de fuentes hídricas, huracanes, tormentas eléctricas, tornados entre otros eventos son alterados por la actividad antrópica y socia natural de la humanidad. (Paniagua, 2013) Se consideran actividades socio naturales: las que se definen como la manifestación de la naturaleza, frente al impacto que causa el hombre, entre ellas se destacan, la deforestación, la tala indiscriminada de árboles, la eliminación de bosques nativos, la destrucción y modificación del cauce de los ríos, contaminación de fuentes hídricas, y construcciones en zonas aledañas a los ríos, el uso abusivo de combustibles fósiles. (Hancock, 2019)

Además, la decisión de considerar las inundaciones como fenómenos hidrológicos de ocurrencia recurrente es concebida a nivel global, con daños considerablemente devastadores, que forman parte de la transformación y evolución de un cauce. Se originan por lluvias constantes y extensivas con desarrollo creciente en la cota de las aguas acopiadas internamente de un cauce rebasando los bordes naturales o artificiales de la cuenca, presentándose derramamiento y

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

desplazamiento de aguas sobrepuestas en las planicies de inundación y áreas colindantes a las corrientes de agua habitualmente no cubiertas. (PULGARIN , 2018)

Eventos antrópicos son ocasionados por comportamientos irresponsabilidad del hombre que producen como consecuencia: incendios, contaminación, emisiones de gases invernaderos, la propagación de enfermedades (dengue), vertimiento de aguas negras en cuencas hidrográficas, uso de químicos agrícolas, manejo inadecuado de los lixiviados, contaminación industrial, minería, entre otros, que generan impactos ambientales irreversibles (MyMaster, 2020).

De acuerdo con Víctor (2020) también especifica que las inundaciones a pesar de lo catastróficas que puedan ser; son vitales para mantener el equilibrio ecosistémico del planeta y la supervivencia de numerosas especies, en específico la del ser humano.

Cabe decir que las inundaciones son también producto de la inestabilidad que se presenta en determinado momento de una zona, en efecto se puede decir que las inundaciones se producen por el aumento del cauce o sistemas de desagüe lo que conlleva a superar la capacidad del mismo. al mismo tiempo, se ve afectada por sedimentaciones que son empujadas y trasladadas, aumentando el cuerpo hídrico del cauce, En tal sentido se forma la posibilidad de inundación. (J & A, 2006)

Según la opinión de Sánchez (2007), académica ambiental en la universidad nacional de costa rica, las inundaciones no solo se generan en áreas rurales o costas, y tampoco ocurren solo en zonas con particularidades climatológicas y específicas, también se presentan inundaciones producidas por desbordamientos en las microcuencas de los ríos o fuentes que los alimentan, como quebradas y arroyos, afectando viviendas, obras viales, perturbando la comunicación y

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

transporte, al destruir puentes y vías, los materiales son arrastrados al alcantarillado que terminan siendo depositados aguas abajo.

Otra circunstancia generadora de inundación es el comercio de tierras con el objeto de ser usado con fines urbanísticos ya que estaban cambiando el uso del suelo de manera indiscriminada e inadecuada, sin ningún tipo de medidas o planificación urbana, que tenga en cuenta áreas de protección especial como: las llanuras o sabanas vulnerables a ser inundadas y rutas de especies endémicas. Al mismo tiempo estas áreas de microcuencas son afectadas por depósitos de escombros, sedimentos, aguas negras, grasas, desechos, basuras, todas estas acciones humanas sin controles gubernamentales conllevan y aumentan el riesgo de desastres asociados a fenómenos como las inundaciones. (Sanchez, 2007)

Teniendo en cuenta lo que plantea Francisco Ferrando (2010), académico perteneciente al departamento de geografía F.A.U. Universidad de Chile, la alteración de las subidas que presenta la superficie del terreno por donde fluyen la lluvia, respecto a otras, está relacionado, con la conducta de las lluvias, en el transcurso del año y la temperatura que presenta el clima. Por otro lado, aspectos que involucran la forma son: la pendiente, variación de altitudes, superficie de la zona, en general la topografía afecta el comportamiento del tipo de desagüe y la capacidad de retención de lluvia en el terreno de la cuenca; factores estos que inciden en la capacidad de respuesta: torrencialidad, el volumen de agua de las fuentes y el lapso de concentración. Ahora bien, los orígenes de las inundaciones se manifiestan por fenómenos extremos tales como, por ejemplo, del orden climático: intensidad de lluvias, precipitaciones prolongadas. de tipo accidental como: el rompimiento de represas, deslizamiento de tierra, derrumbes, desplome de árboles, derrumbamiento de puentes y de tipo hidromorfológico o antrópico: insuficiencia de

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

sistemas de drenaje naturales o artificiales, alteración de causas, contaminación de forma natural y artificial de las fuentes fluviales.

La clasificación de las inundaciones más elemental es: inundaciones lentas, de ocurrencia en zonas de poca pendiente en ríos con valles aluviales amplios, donde el incremento de agua diaria es poco con subida de solo centímetros, con afectaciones de gran extensión, pero con poca o nula pérdida de vidas humanas y cuyo tiempo de permanencia puede ser del orden de meses, como se observa en la región de la mojana, que teniendo en cuenta el concepto de Sarmiento (1990), es un depósito sosegado y continuo de agua en las zonas rivereñas, planicies, llanuras, valles y hondonadas que origina la temporada invernal y el desbordamiento de fuentes hídricas, presentando inicialmente encharcamiento y finalmente por saturación del nivel de filtración de los suelos, produciendo estancamiento que genera pérdidas agropecuarias, contaminación y propagación de enfermedades, daños en los ecosistemas, daños estructurales, hasta pérdidas humanas, amplía así la comprensión de dicho fenómeno. (Sarmiento Prieto, y otros, 1990)

La otra clase es la denominada inundación por crecientes súbitas cuya área de afectación es de menor extensión, pero de mayor potencial destructivo, ya que hay pérdida de vidas, pérdida de estructuras, pérdidas en la economía, afectación en la movilidad, etc. Se originan por precipitaciones intensas en cuencas con zonas de alta pendiente, el incremento de la cota de agua consigue ser de metros en corto tiempo (pueden ser horas) y la duración en el área involucrada puede ser cortos días o de lapsos de horas, generalmente ocurren en pendientes como las de la región andina.

Otras clasificaciones más específicas comprenden:

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Inundación por desbordamientos

Ocurre cuando el volumen de agua en la fuente hídrica se eleva como consecuencia del aumento en la intensidad y duración de la lluvia que supera la cota máxima del cauce inundando el área adyacente a dicha fuente. (VELANDIA, 2014)

Inundación por encharcamiento

Velandia (2014) docente en la universidad católica, define la inundación por encharcamiento como el depósito de agua lluvia, en determinadas áreas urbanas, por fallas en el desagüe y la conducción. En áreas rurales por la topografía y la poca permeabilidad del suelo. Estas inundaciones no se comportan de igual manera que los desbordamientos ya que son producidas por sistemas de alcantarillados que colapsan en muchas ocasiones por la falta de mantenimiento, el acopio de residuos sólidos y diseños inadecuados del sistema para aguas residuales, aguas industriales, que carecen de un drenaje independiente y cuya recolección se combina, se conducen y se vierten sin un previo tratamiento. (VELANDIA, 2014)

Inundaciones por reflujo

Ocurre cuando el agua fluye por las tuberías del alcantarillado, en dirección opuesta, es decir se devuelven limitando el drenaje, produciendo contaminación de los espacios y del recurso potable de agua que coloca en peligro la salud. Generalmente se presenta cuando aumenta la altura de agua en la red de conducción por los desechos, con el aumento de precipitaciones, marejadas ciclónicas o capas freáticas elevadas. En los diseños es necesario separar la conducción de las aguas pluviales de las aguas residuales. (Enterprise Community Partners, 2019)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Inundación por rompimiento de jarillones o presas

Son inundaciones por desbordamiento, causadas generalmente por fallas en el diseño o en la estructura de presas diques o jarillones. La intensidad de lluvia el trasvase de fuentes, la no regulación de ríos, el asentamiento de viviendas en terrenos de alto peligro y en general el incumplimiento de normas ambientales, contribuye en el aumento exagerado del embalse o fuente hídrica, para que ocurra dicho desastre. (IDEGER, 2021).

Inundaciones por marejadas

Ocurre cuando por efecto de la fuerza de vientos en altura de tormentas y ciclones, asociados con un sistema de baja presión atmosférica, empujan la superficie del agua oceánica, aumentando el nivel de los océanos en las franjas costeras y volcándose en ellas. Se agrava cuando la marea alta y la intensidad de lluvia es elevada, que, según el tiempo de duración, aumenta la extensión y la altura de la inundación. (Cadena, 2010)

Inundaciones rápidas y torrenciales

Se generan por causas hidrometeorológicas tales como: aumento de las lluvias siendo el factor detonante, el flujo de vientos, variación de temperaturas, agravadas por el cambio climático y por causas orográficas: cuencas con grandes pendientes, suelos inestables, zonas de relieve quebrado, con un proceso fluvial mediante el cual, por una corriente, se desplaza mayor volumen de agua que tiene la fuerza de arrastrar masas de lodos y escombros, generando una combinación de alta peligrosidad para la zona por donde se mueve y donde finalmente se deposita, como ocurre en los asentamientos poblacionales de alta vulnerabilidad con afectación en la población, estructuras, cultivos y ecosistemas. (Alarcón Alba, Bernal Calderón, & Rivera Quintero, 2017)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Dada la importancia que tienen las precipitaciones como factor desencadenante de las inundaciones, es válido profundizar en las llamadas inundaciones pluviales, responsables en menor o gran escala de las duras catástrofes que ha tenido que afrontar la humanidad por el impacto sobre todos los ecosistemas, las cuantiosas pérdidas económicas, afectaciones en la salud y la existencia del humano.

Es por esto que estudiar las inundaciones pluviales cobra gran interés, ya que afectan en mayor escala a los centros urbanos. Es relevante destacar que la inundación pluvial, es la invasión que hace el agua, procedente de las precipitaciones (lluvias) y la escorrentía en una determinada área de una zona. A mayor frecuencia e intensidad pluviométrica mayor grado de afectación; de igual forma a menor infiltración y mayor velocidad de escorrentía mayor daño. La gravedad del desastre también depende de: comportamiento atmosférico, la topografía, el relieve, actividad productiva, factores determinantes de las precipitaciones que producen la variabilidad del clima y demás factores incidentes en dicha zona. Es necesario tener en cuenta en el estudio de este tipo de inundaciones conocer; la ocurrencia de las épocas secas y lluviosas, e identificar los datos extremos de los factores que generan la inundación. Cabe aclarar que es necesario tener un conocimiento de la dinámica de las precipitaciones en un periodo de tiempo, proyección del cálculo del área que será afectada, estudio de la información estadística de las estaciones meteorológicas, puestos pluviométrico de la zona, para realizar análisis hídricos y plasmar a través de gráficas lo que puede ocurrir. Es bueno recordar que la división del año en dos estaciones, era la característica subtropical de América del sur, que, dado el calentamiento global, la aparición de eventos denominados como: el Niño y la Niña, se ha modificado, en consecuencia, es bueno conocer la ocurrencia de las épocas secas y lluviosas de la zona, para

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

hacer cálculos de evaporación teniendo en cuenta los datos de temperatura, que modifica la incidencia de las precipitaciones. Es evidente que la problemática de desagüe del agua pluvial y el estudio hidráulico de la red de colectores en las zonas urbanas, es de suma importancia para el análisis y planteamiento de estrategias, para prevenir o mitigar las inundaciones pluviales en las zonas urbanas, debido al aumento de la infraestructura, que impacta directamente el sistema de drenaje cuando no se optimiza el manejo hidráulico de las redes colectoras y de las fuentes hídricas del lugar.

Es importante saber que, es factor determinante para la ocurrencia de las inundaciones, el calentamiento global; dura realidad inducida por la irresponsabilidad de la actividad humana, que ha generado el incremento de la temperatura global a través del tiempo, produciendo gases de efecto invernadero, que ha cambiado los patrones climáticos, desequilibrando la naturaleza, afectando a los seres humanos y especies existentes en el mundo. En toda la tierra se han registrado variaciones extremas de temperaturas en el año 2020 como lo señala la “Comisión Europea” en el año 2021 en su página web. Que también afirma: El impacto de la temperatura frente a las inundaciones es preocupante, puesto que acelera la fundición de los casquetes polares y glaciares, lo que modifica extremadamente las condiciones meteorológicas y aumenta las precipitaciones, generando y agravando toda clase de inundaciones con consecuencias devastadoras. (comision europea, 2021).

Como evidencia de lo anterior, los actuales reportes muestran, los océanos crecen 3 milímetros cada año; si este fenómeno sigue en aumento, en unas cuantas décadas varias poblaciones costeras quedarían totalmente inundadas. (DW Documental, 2020) Además, Klaus (2020) menciona que en las regiones del litoral, el urbanismos y el aumento poblacional en las

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

ciudades crecen a un ritmo incontrolado, 4 veces mayor que en las ciudades del interior, es por esto que los habitantes de estas regiones son más vulnerables. Desde el siglo XIX el aumento de los mares a esta época, ha sido en promedio de 20 cm, sin embargo, no es igual, por ejemplo, en New York el aumento ha sido de 30 cm para este mismo periodo, debido a que el viento aumenta las masas de agua en un lugar y lo disminuye en otro. movimiento que también se presenta en la corteza terrestre originando elevación de unas costas y hundimiento de otra, un ejemplo de esto es, el aumento de la costa en Suecia y el hundimiento de la costa en New York. (DW Documental, 2020)

El impacto de inundación pluvial lo podemos ilustrar con lo ocurrido en el año 2010 en Pakistán, se registraron lluvias intensas que provocaron inundaciones, las cuales causaron 1.985 muertos, 20 millones de damnificados, 2.946 heridos y se atendieron más de 170 mil personas post- evento por problemas de salud: contaminaciones gastrointestinales, problemas respiratorios o en la piel, debido a la ingesta de agua contaminada, al estancamiento de aguas negras. Así queda demostrado lo devastadoras que pueden ser las inundaciones en las ciudades. (Vallejo & Córdova, 2012)

Para finalizar, es importante decir, que las inundaciones no son negativas en su totalidad, ya que, gracias a ellas, se transportan los nutrientes que, al sedimentarse en las zonas de inundación, las convierten en franjas de alta fertilidad, que garantizan una óptima producción agrícola. Es necesario los gobiernos en la gestión del riesgo tenga presente el potencial positivo de este fenómeno natural. (Sarmiento Prieto, y otros, 1990)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Inundaciones en América latina

La ciencia determina que, para toda América latina la temperatura está presentando cambios nunca antes vistos en miles de años, según lo estudiado por Hancock (2019) el cual menciona que el constante aumento y acumulación de dióxido de carbono atmosférico está produciendo dicho cambio. (Hancock, 2019) El registro de la temperatura mundial anual ratifica que, en los actuales 10 años, fueron en promedio 2°C más calientes, que los 10 años anteriores (Bulgakov, 2020). Como consecuencia, los estándares de precipitaciones están variando de manera drástica ocasionando diversas inundaciones. (Bulgakov, 2020)

El aumento de la temperatura ha provocado el deshielo de las áreas glaciares, que por efecto domino causa que el mar presente crecimiento en su nivel, modificación en la dirección e intensidad de los vientos, aumento en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, aumentando la amenaza por inundaciones (iberdrola.com, 2021)

“Los mayores indicadores de las variaciones climáticas del mundo siempre han sido los glaciares” (Asociacion ambiente y sociedad , 2020) Es claro mencionar que los glaciares de Colombia son más propensos al deshielo debido a su baja altura y las bajas precipitaciones solidas que son su sustento, lo que genera un desequilibrio en el ecosistema. Es importante enfatizar, que, en la actualidad, es el hombre el responsable del acopio de fluidos de efecto invernadero, principalmente del CO₂, vapor de agua, metano, N₂O. Es preciso mencionar que la responsabilidad frente a la huella de carbono que individual y colectivamente aporta la población humana, se presenta a un ritmo exagerado, este es el reto que enfrenta la humanidad para disminuir el impacto generado por el calentamiento global, cambio climático y los efectos que

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

pueden ser devastadores, en especial las inundaciones extremas. (Fundación Biodiversidad, 2016)

El cambio climático para América latina se evidencia por: derretimiento de áreas glaciares, como sucede actualmente en Venezuela, donde solo queda el pico Humboldt, ubicado en la sierra nevada de Mérida (Benditopoder, 2020), según Domínguez (2020) la pérdida del cuerpo de glaciares en esta región se ha generado a gran escala en los periodos actuales y posiblemente seguirá ocurriendo en el ámbito del cambio climático. (Domínguez, 2020)

La pérdida de la cubierta glaciar de Ecuador era del 50 % para la época de los años 50. en la actualidad los reportes del (MAE) para el año 1990, establecen que como cobertura de hielo en Ecuador pertenece a 97,2 km², en el año 1997 pasó a 60,7 km², en el año 2010 disminuyó a 48 km² y el último dato registrado corresponde a 43,5 km², registros que demuestran la afectación en estos ecosistemas con daños irreversibles. (Alarcón, 2020)

Para América latina, a pesar de las medidas que se tomen, las predicciones reveladas por el informe de la ONU sobre el crecimiento de las temperaturas y el nivel del mar, indican que esta región será una de las más afectadas, con el retroceso de la línea de costa por el incremento del nivel del mar, y se aumentara la presencia de eventos que generen inundaciones. (BBC News Mundo, 2021)

Colombia país de latino América no es ajena a la reducción de los glaciares, sorprenden y preocupan, ya que, estudios ejecutados por el IDEAM (2021) demuestran el deshielo de los glaciares desde año 1850 hasta el año 2020, donde señala la pérdida del 92% de la superficie glaciar del país. Según el IDEAM (2021) la reducción del área en los últimos 6 nevados existentes en Colombia: Nevado Santa Isabel, Sierra Nevada de Cocuy o Güicán, Sierra Nevada

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

de Santa Marta, Nevado del Ruiz, Nevado del Huila y Nevado del Tolima, es de 34.85 Km², que, si se compara con el área de 349 Km² que registraban para el año 1850, es una pérdida irreparable. Todos los nevados existentes han perdido cobertura, sin embargo, en el nevado del Chita Cocuy o Güicán y el nevado de la Sierra Nevada de Santa Martha, hay reducción en la pérdida de nieve perpetua en los últimos años, lo que significa el aporte de la naturaleza a su autorregulación, cuando se implementan estrategias de protección que vinculan a los pobladores de las zonas, en especial las comunidades indígenas. (IDEAM, 2021)

La inequívoca alteración que ha generado la humanidad acelerando procesos naturales, que degradan el sistema terrestre y generan sucesos más agudos de precipitación. Como lo revela la historia de las inundaciones de los ríos en Chile para los periodos de 1574-2012, permite comprender los factores detonantes y épocas de ocurrencia de estos eventos. Por ejemplo, para la época de los sesenta a los noventa, Chile vivió alrededor de 16 inundaciones desastrosas, asociadas a sucesos pluviométricos con afectación en toda la población, ya que es un territorio con diversas zonas climáticas, en particular sus relieves montañosos extendidos a lo largo del territorio, con cumbres tapadas de nieve y glaciares, alteradas por el calentamiento global, con cambios en las características climáticas, que por su ubicación lo convierte en una zona más propensa a presentar inundaciones pluviales. Según la “(ONEMI) y la OPS” con la terminación de demostrar cambios en los patrones de conducta latitudinal, se realizaron estudios en Chile, que mostraron diferentes características de la procedencia o elementos detonantes que generan inundaciones fluviales. En pocas palabras, se dividen en factores detonantes tales como: precipitaciones, procesos volcánicos, procesos nivoglaciares, deslizamientos e intervención antrópica, además, con procesos como: lluvia en terrenos con pequeñas variaciones en la

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

topografía, lo que permite el choque de aire húmedo y cálido generando lluvias intensas, taponamiento de los cauces por depósitos volcánicos, crecidas por deshielo, posesos sísmicos, ruptura de estructuras hidráulicas o inadecuado manejo de obras hidráulicas. A continuación, se asocian los factores detonantes con los procesos en el periodo de estudio, revelando que la precipitación producto de choque entre corrientes de aire con formación de eventos pluviales obtiene un 71% de ocurrencia, los procesos de deshielo obtienen un 12% de ocurrencia, los procesos volcánicos obtienen un 10%, y por último el restante se asocia a ruptura de estructuras y deslizamientos. Demostrando que las lluvias intensas son las causas con mayor influencia para la ocurrencia de inundaciones. (Rojas , Mardones, Arumi, & Aguayo, 2014)

Todo lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta lo dicho por Margarita Gascón “más el cambio en la frecuencia y severidad de los procesos hidro-meteorológico, glaciológico, o geológico aguas arriba, manifestándose como un movimiento repentino y desequilibrado de agua son las amenazas que generan mayor probabilidad de inundación con afectaciones catastróficas” (Gascón, 2005), otras factores que podrían producirlas, son el crecimiento de los afluentes de los grandes ríos, por lluvias en sus zonas altas, de igual manera el incremento del nivel del océano en la desembocadura de estas, la ruptura de presas, olas de calor, olas de frío, ciclones tropicales, lluvias torrenciales entre otros, desencadenando fenómenos extremos con peligrosas consecuencias como lo son las inundaciones. Que producen hambrunas, migraciones climáticas e incendios (iberdrola.com, 2021).

Generalmente las ciudades en América latina, están ubicadas en zonas costeras y ribereñas, que garantizan bienestar por el agua potable y los recursos hídricos, no obstante, el

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

riesgo y la vulnerabilidad frente a las inundaciones las convierten en zonas de desastres de alto impacto, que requieren compromiso frente al mandato de gestión de riesgo para su mitigación.

Es necesario señalar, que desde julio de 1982 se han presentado una serie de modificaciones meteorológicas y oceánicas en el territorio del pacífico ecuatorial, generando el fenómeno denominado ciclo del “Niño” (temporadas más cálidas) y su etapa contrapuesta “la Niña” (temporadas más frías) que se presenta en intervalos regulares entre 3 a 16 años frente a la ribera occidental de Sudamérica especialmente afectando las zonas costeras del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. (SIAC, 2021) Son fenómenos que modifican las precipitaciones, factor climatológico representativo en la alteración del clima.

Para América latina el impacto de las inundaciones será de mayor magnitud, ya que son países en vía de desarrollo que carecen de la políticas, tecnología y recursos para enfrentar eficientemente estos desastres, en consecuencia, el grado de pobreza será aún mayor, se espera que a nivel de políticas de cada país y del consenso mundial se planteen y ejecuten acciones que detengan los pronósticos actuales. (Bendito extranjerto, 2017)

Inundaciones urbanas en Colombia

Colombia es un país de importante para América latina, ya que, está rodeado al norte con su océano Atlántico, por el occidente el océano pacífico, atravesado por la cordillera de los Andes, cuenta con un rico y amplio sistema de fuentes hídricas. Debido a sus características hidro topográficas, el país para su estudio se divide 5 áreas a saber: zona del caribe, Magdalena Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacifico, lo que permite analizar la capacidad hídrica y su comportamiento frente a las posibles inundaciones en el país. (García, y otros)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

La incidencia de inundaciones en Colombia exige tener claridad en el conocimiento sobre los recursos naturales y los ecosistemas existentes. Vale la pena mencionar lo dicho por a través de redes sociales del activista Francisco Vera (2021) “Colombia es el segundo país más biodiverso del planeta”. (CNN en Español, 2021)

El relieve colombiano nos pone de manifiesto los sistemas transicionales, tales como: el piedemonte andino amazónico, el piedemonte llanero y el piedemonte pacífico, que son ecosistemas que se encuentran en la base o en la falda de las cordilleras, las llanuras aluviales o valles de los ríos y sistemas montañosos. donde por los procesos antrópicos y la relación irresponsable con la morfología y estructura en cada uno de los ecosistemas, como ya se ha mencionado, la deforestación, la tala indiscriminada de árboles, la eliminación de bosques nativos, manglares, la construcción de estructuras, la agricultura, el asentamiento poblacional en áreas inadecuadas, desencadenan desequilibrios y catástrofes tales como las inundaciones en todas las regiones del país. (Flórez Lage & Suavita Bejarano, 1997)

Para la identificación de las áreas de riesgo de inundación, es necesario conocer la dinámica de las precipitaciones, lo que requiere información estadística de las estaciones meteorológicas, climatológicas y puestos pluviométricos de la zona a estudiar. Es bueno tener en cuenta que en Colombia el comportamiento de las precipitaciones varía según la zona, por ejemplo, en el amazonas se presenta el mayor aporte de precipitaciones, entre 5.000 mm a 4.000 mm, en la Orinoquía se registra un decrecimiento desde los 5.000 mm para la llanura oriental en su ladera, desde los 1.500 mm o menor hacia el sur, y para Cúcuta o sus alrededores en el departamento norte de Santander un mínimo de 1.000 mm. (Caicedo Pabón, Eslava Ramirez , & Gómez Torres, 2001)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

La zona más lluviosa de Colombia se ubica en el corregimiento de Tutunendo Quibdó con 11.770 mm. (PULGARIN , 2018)

También, es necesario conocer niveles y caudales de las fuentes hídricas, al mismo tiempo, se necesita conocer información topográfica del área, es decir realizar estudios y análisis hidrológicos e hidráulicos. Otro factor necesario en el estudio de las inundaciones urbanas es el análisis del sistema de drenaje, descrito anteriormente, cuando se trataron las inundaciones pluviales.

También es de importancia, el análisis de las características del sistema de drenaje superficial de Colombia. las áreas vecinas a las cuencas inferiores de los ríos, son susceptibles de inundaciones periódicas, generalmente de inundaciones lentas; recordemos que el uso del suelo y la deforestación, causan aumento en el depósito de sedimentos, que producen modificación en los patrones naturales del flujo. En los ríos torrenciales de pendientes accidentadas, se presentan crecientes súbitos cuando hay tormentas de alta intensidad. (García, y otros)

Las poblaciones más afectadas por las inundaciones en Colombia, se encuentran en las zonas costeras y riverañas, con precarios o inexistentes método de drenaje, especialmente en sitios informales ubicados en inmediaciones de cuerpos de agua. es importante afirmar, que las alteraciones del ciclo hidrológico, aumentan la intensidad de las lluvias en las zonas húmedas y prolongan las sequias en lugares áridos. Por todo lo anterior el impacto se evidencia en los pobladores y su bajo nivel de calidad de vida, perdida incalculable de la biodiversidad, favoreciendo la trasmisión de virus y bacterias e incrementando la generación de mosquitos portadores de enfermedades, principalmente en las zonas más húmedas, extinción de muchas especies, con afectación principalmente en los arrecifes. Alta disminución del potencial de agua

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

potable y todas las consecuencias que esto conlleva (inseguridad alimentaria, afectación de la infraestructura y como consecuencia mayor la pérdida de vidas humanas).

Para afrontar el aumento de las inundaciones en las urbes latinoamericanas, particularmente en las ciudades colombianas, es importante consolidar un modelo de gestión de drenaje urbano con aplicación sostenible e integral, además; del cumplimiento estricto de políticas de urbanización en zonas no vulnerable.

En la investigación efectuada por Julio César Velandia González detecto que las catástrofes por sucesos naturales generalmente son las inundaciones, como lo que sucedió en el lapso de tiempo de 1900 a 2001 donde se presentaron 35 eventos de inundaciones, arrojando un número de 1.685 víctimas mortales y una población afectada de 6.940.970 habitantes, lo que demuestra una vez más, que este evento es uno de los mayores causantes de afectación en la población. (VELANDIA, 2014)

Lo anteriormente descrito, da a conocer la problemática de las inundaciones, sus causas, factores incidentes, deficiencias, riesgos y amenazas, que deben afrontar las ciudades. Así mismo se clarifican las dificultades del sistema de drenaje de aguas pluviales, en zonas urbanas altamente pobladas, susceptibles a inundaciones. Por lo anterior es necesario, plantear soluciones muy bien planificadas, que brinden alternativas para prevenir y mitigar la vulnerabilidad de la población, usando todas las herramientas que permitan una evaluación certera de los problemas hidrológicos, hidráulicos y la capacidad del sistema de drenaje. Este conocimiento detallado puede ser adquirido con el uso de herramientas que simulen y modelen las inundaciones urbanas. Lo anterior también requiere de tener claridad en el conocimiento de la zona urbana y sus

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

alrededores, asociado a los eventos producidos por el desagüe pluvial, el comportamiento hidráulico de los tramos de colectores. (Dolz & Gómez, watermark.silverchair.com)

Un referente matemático a tener en cuenta es el método de ponderación mixta para la toma de decisiones, automatizar la peligrosidad por posibles inundaciones en calles de áreas urbanas, es importante cuantificar la peligrosidad conociendo el flujo de las calles, la gestión del drenaje pluvial urbano, la evolución de caudales, la profundidad o capa de agua en la vía, la rapidez de flujo en calles o avenidas, cual es el nivel en relación con el nivel de las aceras, identificación de las zonas críticas, duración de la inundación. Dicha metodología permite conocer la ubicación espacial de la herramienta que indica el grado de peligrosidad pluvial, agrupada al movimiento superficial en las calles por medio de una escala de colores que se transforma en instrumento valioso para la tomar decisiones de los constructores de la red pluvial urbana. (Sánchez Román & Martínez González, 2012)

La importancia de plantear propuestas que den soluciones que permitan reducir la incidencia de inundaciones pluviales en zonas de alta pendiente, como se presenta en múltiples terrenos de las ciudad colombianas, por la deficiencia de la capacidad hidráulica de los sistemas de drenaje, los cuales colapsan por la superación del nivel de agua con la escorrentía que se ve modificada rápidamente por las pendientes altas de los territorios y la incidencia antrópica de las poblaciones. (Rey, 2019)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CAPITULO II: EPA SWMM

¿Qué es el EPA SWMM?

El Storm Water Management Model”“(modelo de gestion de aguas pluviales en español) de la Agencia de Proteccion Ambiental (Enviromental Protection Agency, EPA por sus siglas en ingles)”, es un modelo dinamico que simula las precipitaciones de forma incesante en un tiempo extendido. El software admite simular la calidad y cantidad de flujo de agua a evacuar, sobretodo en alcantarilados en la zona urbana. El modulo hidrológico o de escorrentía del programa SWMM trabaja con las cuencas en las cuales se transporta la precipitación y se forma la escorrentia. El módulo hidraulico o de transporte examina la conducción de estas aguas por medio de sistemas de tuberias, canales, tratamiento y almacenamiento, bombas y valvulas que reculen su flujo. De igual manera el programa SWMM sigue la evolucion tanto en calidad como cantidad de agua de escurrimiento generada en cada subcuenca, tal como el caudal, la calidad del agua en cada conducto, la altura del fluido en los pozos y conducto mediante una simulación que se compone por varios periodos de tiempo. (GMF, 2005)

El manual del usuario del programa SWMM, patron de gestion de aguas pluvales, en su version 5.0 indica que el programa SWMM se adelanto en 1971, mejorando continuamente. La version EPA SWMM 5 admite ingresar datos de acceso para areas de desagüe, simula la conducta hidraulica, evalua la calidad del liquido y permite observar los efectos en muchos formatos, como isolineas para areas de drenaje, tablas y graficos de evolucion en un periodo de tiempo, perfiles y analisis estadisticos de frecuencia.

Este es un programa que se confirma por muchos años de experiencia que lleva al mercado, porque la aplicación se ha realizado con él mismo y mediante mejoras continuas del sistema operativo. SWIVM simula la reacción de las cuencas empezando con los datos de lluvia

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

y otros sistemas y características del sistema: subcuencas, conducciones, almacenamiento, etc, ayudando así a la resolución de problemas hidrológicos, sobre la superficie y la fuerza del agua en el conducto. (Ferrer, 2007)

Ferrer (2007) en su tesis aclara que el programa se divide en múltiples módulos: de cálculo, flujo, transporte, huella y almacenamiento / tratamiento; y los servicios: ejecutivo, lluvia, temperatura, gráficos y estadísticas. Dado que no hay casos, el efecto de la nieve ha sido considerado, muy raro en la región, o calidad del agua o Simulación continua, el módulo de enfoque en los que se centra la atención del estudio de escorrentía (Runoff), hacia el tratamiento de la precipitación, y escorrentía y transporte extendido para el análisis hidráulico de las tuberías.

El módulo de escorrentía tiene la función de simular el fenómeno de conversión de lluvia o escorrentía en cuencas y la acceso de gráficos hidrológicos en la red de drenaje. Para esto, la cuenca se subdivide en una pequeña cantidad de pequeñas cuencas, cada cual crea su propio flujo que termina en la red con un punto o conexión de entrada. El bloque de escorrentía se usa para calcular el flujo generado por la lluvia en cada subcuenca en el que determina su división de cuencas y exposición de resultados en forma de hidrograma en determinados puntos. Por esta razón, la preparación exacta de los datos de este módulo es muy importante porque se transmitirá a los siguientes módulos. Los análisis del flujo se basan en el modelo de depósito modificado con ondas cinemáticas. El modelo divide a cada sub-cuenca en un área permeable sin retención en la superficie y otra zona permeable con retención, dependiendo de los porcentajes introducidos de retención e impermeabilización. La escorrentía se crea al acercarse al funcionamiento de cada área con un depósito no lineal.

Es conveniente enfatizar que los parámetros introducidos al modelo se logran usar para modificar la retroalimentación de él. Por ejemplo, W concierne al espacio de almacenamiento

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

que representa una cuenca cuenca adicional y debe valorarse a partir de su forma geométrica real, no será homogénea o simétrica. Supongamos que se trata de una cuenca rectangular y para una superficie igual, el ancho más grande creará la salida hidrológica del tiempo más bajo y la última velocidad, mientras que el ancho inferior retrasará el cabezal de hidrología, creará efectos de laminación. Ahora, si los datos de los parámetros son realmente conocidos y no solo estiman, se recomienda utilizar otras variables de ajuste, como el coeficiente de rugosidad de Manning, generando un grado de flujo de velocidad. Se puede considerar una situación idéntica para otros parámetros distintos de la inclinación de las subcuencas, aunque el estudio de calibración y sensibilidad de los modelos necesitan de un conocimiento de los parámetros fundamentales de la cuenca. Los datos de ingreso que se requieren en el módulo de Runoff son los datos de meteorología como una representación de los eventos de precipitación; por ejemplo, a través de datos sobre las intensidades de lluvia en ciertos intervalos en el tiempo y la duración total de los hietogramas, de igual manera se pueden introducir características de las subcuencas como asignarle un hietograma o evento de lluvia a cada subcuenca, identificar a cada una e identificar el lugar por donde se drena, que puede ser ya sea un sumidero que es un punto de acceso a la red de drenaje o bien un canal en superficie, se requiere el ancho, área e inclinación promedio de la subcuenca, coeficiente de rugosidad de Manning y velocidad de almacenamiento para áreas impermeables y penetrables, también parámetros de infiltración según la ecuación de Horton. Se introducen las propiedades de los canales de drenaje ya que cada uno puede producir escorrentía, requieren de parámetros como identificación, la forma puede ser trapezoidal, circular, de forma parabólica o tener una perforación de salida, coeficiente de rugosidad de Manning en los canales y caudal máximo admisible en el canal y caudal inicial. Entre otros parámetros se pueden ajustar el intervalo de tiempo entre cada evento, la duración de la simulación, etc.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Principales características del modulo hidrológico.

El programa SWMM considera varios procesos de carácter hidrológico que son generados en la evacuación de aguas consideradas urbanas, tales como: precipitaciones que varían en el transcurso del tiempo, gasificación de aguas en la superficie en estado de estancamiento, acaparamiento y derretimiento de hielo, interrupción de precipitaciones por acumulación en fosas, penetración de lluvias en las capas de suelo que no se encuentran saturadas, ingreso de fluido por infiltración en acuíferos, compensación de flujo entre acuíferos, métodos de transporte y modelo de almacenes no rectilíneos para el recorrido superficial. La variación de estos procesos se determina con áreas de estudios más pequeñas y homogéneas en las zonas de captación, como las cuencas, las cuales tienen subáreas permeables y no permeables. El flujo en la superficie se logra producir entre distintas subáreas, cuencas o sitios de ingreso al sistema de drenaje. (SWMM5vE, s.f.)

Principales características del módulo hidráulico.

SWMM tiene una variedad de elementos que permiten modelar las características hidráulicas que analizan el caudal debido al escurrimiento en la superficie y las contribuciones del caudal por medio de una red de conductos, canales, terminales de acumulación y tratamiento de aguas entre otras estructuras. Estos elementos tienen la capacidad de: manipular redes ilimitadas, usar gran variedad de geometrías para tuberías de cualquier clase, también canales naturales, la modelación de elementos espaciales como dispositivos de tratamiento y almacenamiento, bombas, vertederos y orificios, emplear caudales que pueden determinar la calidad de las aguas en la superficie, reciprocidad de caudales entre acuíferos, caudales de penetración en los

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

colectores que dependen de las lluvias, caudales sanitarios en tiempo de sequía, realizar análisis hidráulico por medios como flujo constante, onda cinemática y/u onda dinámica, modelamiento de los otros regímenes de flujo y usar intervenciones dinámicas para; simular el trabajo de bombas, grieta de orificios o ubicación en la superficie de un vertedero. (SWMM5vE, s.f.)

Principales características del módulo de calidad

El programa SWMM también puede evaluar la creación y progreso de las cargas contaminantes en relación a la esorrentía. Se consiguen modelar las técnicas para las sustancias asociadas a la calidad del agua que defina el usuario como: acumulación de contaminantes durante la sequía para diferentes usos del suelo, arrastre de sustancias contaminantes en periodos de tormentas, contribución directa por la lluvia, descenso de la calidad acopio por limpieza de calles en tiempo de sequía, disminución de cargas de materiales arrastrados debido a las prácticas de buena gestión, ingreso de flujos sanitarios en tiempos de sequía y otras contribuciones que especifique el beneficiario en cualquier lugar del sistema, seguimiento de los componentes que se asocian a la pureza del agua en todo el sistema y reducción de contaminantes a través de tratamientos en depósitos o por procesos naturales en tuberías y canales. (GMF, 2005)

Aplicaciones más usadas en EPA SWMM

El programa SWMM se ha usado en muchas redes de salida de aguas residuales y pluviales. Entre sus típicos usos están las siguientes: diseño y dimensionamiento de red de drenaje para mitigar inundaciones, delimitación de áreas de inundación en caminos de agua naturales, concretar estrategias de inspección en una red de aguas, dimensionar la estructura de retención y otras partes, para el vigilancia de inundaciones y cuidado de la calidad del agua,

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

modelar las partes de desechos no puntuales, para investigaciones y reportes de ingeniería ambiental, diseño de tácticas de control de red, para minimizar las descargas en sistemas sanitarios, evaluación del impacto de las penetraciones mediante la descargas de sistemas de deposición de las aguas residuales y evalúa la factibilidad del uso de las buenas prácticas de gestión, para reducir las cargas contaminantes durante tormentas. (TECPA, s.f.)

Los poderosos eventos de lluvia en el invierno del año 2017 han acordado una inundación significativa en la cuenca nacional urbana del sur de Mirador ubicadas en las parroquias de Rumiñahui y Iñaquito, con daños a activos públicos y privados. El sellado del área de estudio debido al proceso de urbanización, aumento la falta de la capacidad del sistema de drenaje actual, pese al problema de inundación con lo que se enfatiza en la necesidad de implementar medidas de control para las inundaciones. En la primera redacción del presente trabajo, la información y actualización se desarrollan para la innovación y ajuste del modelo hidráulico, a utilizar en el escenario urbano, gracias al software SWMM gratuito en su versión 5.1. luego se plantea diseñar y modelar dos alternativas sostenibles presentadas para controlar las inundaciones, incluidas las células de membrana biológica, los canales verdes y especialmente, la desviación del flujo de áreas impermeables para detenerse en el área verde. Finalmente, la rentabilidad de las soluciones de rehabilitación admite, las técnicas de control de inundaciones sostenibles y razonables al evaluar el precio del descuento de las inundaciones. dependiendo del modelo y el costo, como resultados se obtuvo, que para eventos de calibración empleada se tuvo una diferencia de 41,5% entre los volúmenes de escorrentía generados por el hidrograma modelado en el software SWMM en comparación con el hidrograma generado por el sensor ubicado en al Av. Gran Centeno y se obtuvo un 12,6% de diferencia entre el caudal pico

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

obtenido en el software y el obtenido por el sensor. Mediante estos modelados se implementaron técnicas LIDs (tácticas de Desarrollo de Bajo Impacto) con el aumento de áreas verdes en la zona de estudio que promueven la infiltración de grandes volúmenes de agua de precipitaciones y por ende reducción en el volumen de las escorrentías, mitigando la generación de estas. (Madero Villalta & Ponce Recalde, 2019)

La presión del suelo por generación y aumento de urbanizaciones, exige que este tenga un método de desagüe pluvial eficaz. Se encontró que el territorio tenía deficiencias en el drenaje y en el sistema recolector de los desechos sólidos lo que permitió la contaminación del agua. Por lo anterior se evidencia la poca cultura ambiental que existe en la población, haciendo que cada vez sea más crítica la situación. “Turbo City” bajo las estadísticas administrativas de DANE en 2005, registró una población de 63.400, para 2010 de 67.400 con una tasa de desarrollo del 2,64%, lo que aumenta la presión del suelo y el modo poco razonable de cómo construir. Por otro lado, según la planificación territorial básica, el crecimiento promedio previsto para diferentes áreas de uso del suelo, las áreas turbo urbanas es de 28.5 años y un año más. el desarrollo de la organización urbana demanda con urgencia. Un modelo que planea usar el espacio una urbanización como una pequeña ciudad, para generalizarse en la ciudad como lo muestran algunos hechos en Cartagena y Turbaco Sur de Bolívar. Con el ofrecimiento de SUDS se da un recurso para ayudar a mitigar los problemas causados por las deficiencias en el drenaje pluvial, agrupados al caudal a evacuar; estrechando sustancialmente el riesgo por inundación. También se formó un modelo conceptual de desagüe en las ciudades con aplicación sostenible manejando como instrumento computarizado el software SWMM, que conllevo a instaurar la dinámica de

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

escorrentía en el área de estudio y se utilizó como instrumento de organización urbana; los (SIG) sistemas de información geográfica, para el estudio de peligros por inundación. (Pajaro, 2014)

Para la ciudad del Trenque Lajen, en Buenos Aires más precisamente al oeste de la provincia, con cinco mil personas, de economía establecida especialmente en la agricultura y la producción de leche; por décadas, la región experimento inundaciones que afectaron no solo, áreas rurales, centros urbanos y pequeños pueblos; en particular la ciudad Trenque Lajen sufrió graves inundaciones en los últimos años, debido a las precipitaciones de corta duración, varían en intensidad, cayeron 280 mm de lluvia en 24 horas, llegando al nivel que hace que el agua se desborde en los hogares. El estudio representa un ejemplo, para la aplicación de un modelo de tipo SWMM hidrodinámico como herramienta adecuada, para evaluar con precisión este complejo sistema de precipitación, teniendo en cuenta la diversidad, el tipo y la función de la organización de los componentes hidráulicos presentes. El resultado del modelado, es autorizado para proporcionar recomendaciones relevantes y útiles, para la mejor administración de la red de drenaje en la ciudad. (Angheben, Romanazzi, Calvetty Ramos, & Bonardo, 2017)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CAPITULO III. EPA SWMM PARA LAS SIMULACION Y MODELACION DE INUNDACIONES URBANAS

El aumento de la infraestructura en las ciudades, causa un gran impacto en el drenaje de aguas pluviales y en consecuencia se generan inundaciones urbanas. (Dolz & Gomez, Ingenieria del agua, 1994)

El desarrollo urbanístico en las ciudades, representado en: vías de comunicación, zonas verdes, hospitales, acueductos, alcantarillados, instituciones educativas, etc, permiten un bienestar y desarrollo sostenible en las comunidades, no obstante, exige que se tenga en cuenta en primer lugar, la red de drenaje natural y que cobra importancia tener en cuenta la red de drenaje artificial, en su optimización, ampliación, modernización y correcto mantenimiento de estructuras de drenaje; en especial las redes de colectores, acorde al crecimiento de las ciudades en extensión y población, para lograr que el impacto de las inundaciones urbanas se reduzca al máximo. El urbanismo modifica también la actividad lluvia-escurrimiento, los cauces de la red hidrológica inicial se alteran y se afecta la capacidad de desagüe. (Dolz & Gomez, Ingenieria del agua, 1994)

Por lo anterior es importante que el habitante en general, los entes administrativos, en especial los de gestión del riesgo, mejoren la sensibilidad y se concienticen frente a esta amenaza, con comportamientos y lineamientos políticos que garanticen solución a esta problemática.

Teniendo en cuenta el contexto anteriormente descrito sobre las inundaciones, con el aumento de la migración de población humana a las ciudades, por ende, el incremento urbanístico y el aumento de zonas de invasión, se han agudizado los problemas de drenaje,

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

creando inundaciones y contaminación de las fuentes hídricas o ecosistemas de la zona. factores como: obsoletos sistemas de alcantarillado, sin independencia en la conducción de las aguas pluviales y de aguas residuales, deterioro de redes y falta de mantenimiento, pavimentación de calles con precarios sistemas de alcantarillado, generando en algunos sitio aumento de la escorrentía y en otras encharcamiento y generación de corrientes subterráneas que causan deterioro estructural y contaminación, construcción de estructuras en zonas de alta pendiente, taponamiento de desagües por vertimiento de basuras, depósito de escombros que disminuyen la capacidad filtrante del terreno, aumentando el riesgo de inundación, procesos industriales a pequeña y gran escala con carencia de sistemas independientes para la conducción y aprovechamiento de aguas pluviales, renovación y ampliación de los sistemas de alcantarillado para que satisfagan la demanda poblacional. Es bueno destacar que la falta de educación ambiental y prevención de desastres es lo que agrava la conducta de las personas frente a dichas amenazas. El aumento de la infraestructura disminuye la superficie permeable de los terrenos, lo que produce mayor escorrentía, en zonas inestables genera deslizamientos y en zonas de poca pendiente provocan inundaciones por encharcamiento o por reflujo, con consecuencia en la salubridad del lugar.

Por todo lo anterior se considera que el detonante de la mayor parte de las inundaciones urbanas es el incremento en la frecuencia y magnitud de las precipitaciones, sumado a la topografía del terreno y al deterioro ambiental; razón por la cual, surgen herramientas para la mitigación de estos desastres, tales como: El SWMM para la simulación y modelación de inundaciones urbanas, que permitirá responder a la siguiente pregunta: ¿es posible anticipar la ocurrencia de inundaciones?

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Si es posible implementar medidas que puedan proyectar o simular estos fenómenos y con realismo, mitigar los efectos catastróficos de las inundaciones, siendo estos los causantes de la mayor cantidad de afectaciones en la humanidad, como en anteriores párrafos se ha mencionado.

La simulación, Por consiguiente, permite verificar de una forma visual y practica que el modelo cumple o no, con las expectativas planteadas inicialmente, dando resultados que permitan su ejecución en la vida real.

Según la definición de Pegden (1990) la simulación es una etapa en la cual se proyecta un modelo computarizado de un procedimiento real, que permite ejecutar ensayos con este modelo, con la intención de analizar su comportamiento, para dar un diagnóstico que forme estrategias en su operación. Así, concebimos que la simulación es el proceso que encierra la construcción de un modelo capaz de producir resultados para tomar decisiones, pero también un método experimental, que busca describir el comportamiento del sistema, ayuda a construir hipótesis y teorías, en consideración con lo que se observa y permite el modelo para evaluar el comportamiento futuro, los efectos producidos por alteraciones generadas en el sistema o deficiencias en su operación, además, debe cumplir con requerimientos mínimos para poder producir resultados. (Paragon Decision Science, s.f.)

Según Sheptulin (1983) la reproducción de datos de entrada y requerimientos mínimos para la modelación permite relacionar el objeto de estudio con esta data dando como resultado otro modelo de estudio con características más detalladas, las cuales permiten avanzar en el proyecto. (Izquierdo, 2009)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Para generar el modelo inicial es necesario la selección y compendio de los datos que el modelo exige: como red hidrológica de la zona de estudio, planos urbanos, cuencas, red de alcantarillado actual, topografía del terreno, mapa de lluvias y datos históricos de precipitaciones, identificación de zonas con capa vegetal y ubicación de todas las estructuras.

Para implementar el programa de simulación se tienen en cuenta el reconocimiento del área de estudio. Datos proporcionados por estaciones de carácter hidro-meteorológico o geológico, datos topográficos, como por ejemplo altimetría, planimetría, batimetría de los ríos o cauces, ya que se requiere la mayor recolección de información posible y existen muchas variables que pueden ocasionar alteraciones en el sistema.

En el procedimiento se debe ejecutar las siguientes actividades:

1. Levantamiento topográfico y procesamiento de datos en plataformas de dibujo
2. Búsqueda de datos históricos en la zona de estudio y proyección de datos de precipitaciones
3. Plasmar en herramientas digitales los sistemas de drenaje existentes
4. Establecer en el programa las propiedades de cada elemento, implicado en el diseño
5. Implementación de SUDS.

Es necesario efectuar, múltiples simulaciones para obtener resultados más precisos. En primer lugar, se necesita el modelo y simulación del sistema convencional actual, para evaluar los problemas presentados y sus requerimientos, Posteriormente, se procesa cada incorporación de elementos de SUDS individualmente, para evaluar su funcionalidad y para finalizar se realiza el análisis de todos los elementos incorporados con el fin de observar el comportamiento en

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

conjunto. Con todo esto se busca que al finalizar la simulación el sistema no colapse, lo que mitigaría la probabilidad de fenómenos de inundación. (Mayz, Medina, & Dale, 2018)

Es importante mencionar, que se busca la realización de un diagnóstico inicial de la problemática que genera inundaciones urbanas, lo que nos permitirá suministrar los datos indispensables, para realizar una simulación y modelación de un sistema de prevención de inundaciones urbanas.

Para la reducción y mitigación de las inundaciones se crea, el SNGRD, se forma adecuadamente para el año 1985, después de la explosión del volcán nevado del Ruiz, que obligó al gobierno a crear un sistema de gestión de desastres naturales; es a partir de este suceso que es de responsabilidad de las entidades públicas afrontar los diferentes fenómenos catastróficos que se presentan en el país, el proceso fue perturbado por las emergencias invernales (fenómeno de la Niña) en 2010-2011 adicionalmente las fuertes temporadas de lluvias desbordaron la capacidad de respuesta del país, consecutivamente exigiendo al gobierno cumplir la gestión del riesgo como una política definitiva para Colombia. Esta unidad se crea por el Decreto 4147 del 3 de noviembre de 2011, denominándose UNGRD (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres) – Colombia. de manera general, es una entidad que se encarga de coordinar el sistema nacional del riesgo de desastres, impulsa y fortalece la comprensión y disminución del riesgo para el manejo de desastres, con la capacidad de articular políticas enfocadas en tácticas, métodos, programas y proyectos para la Gestión del Riesgo de Desastres. (UNGRD, 2015)

“La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de desastres (2012) (UNGRD) es la encargada de fortalecer las capacidades de entidades públicas y privadas en la comunidad en, para la disminución del riesgo y el manejo adecuado de desastres. Así mismo la ley 1523 del 24

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

de abril del 2012 en su artículo 1 define la gestión del riesgo: Como un asunto social encaminado a la formulación, realización, rastreo y estimación, de manejos, estrategias, planes, programas, regulaciones, materiales, medidas y acciones imborrables, para la comprensión, reducción del riesgo y manejo del desastre, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, la calidad de vida de las personas y su bienestar y el desarrollo sostenible.” (UNGRD, 2012)

La UNGRD (2018) trabaja bajo los lineamientos del método nacional de gestión de riesgo de desastres que por decreto 308 del 2016 se acoge para un periodo de 2015 a 2025. La máxima autoridad ambiental para la ciudad de Cúcuta es la Corporación Autónoma Regional CORPONOR, impulsando el desarrollo humano sostenible, a través de un adecuado manejo ambiental de forma colectiva y participativa en Norte de Santander. Mucha información tendrá como base las actividades que está, ha desarrollado y desarrollará para la ciudad de Cúcuta, como fundamentos teóricos y prácticos a tener en cuenta en el conocimiento del riesgo. (UNGRD, 2018)

Son políticas de prevención del riesgo las políticas del cambio climático, cuyo objetivo es fortalecer las medidas para el reducir el cambio climático, contribuir al fortalecimiento de los procesos de desarrollo, bajos en carbono, resilientes al clima, para disminuir los riesgos agrupados al cambio climático. Por ello, la política de organizar la gestión del cambio climático en Colombia, incide en las disposiciones públicas y privadas, que más adaptan al rumbo del desarrollo sostenible del país, de manera integral. En este sentido y dada la naturaleza de los riesgos agrupados al cambio climático, la política considera necesario acoger una visión regional que otorgue importancia a las iniciativas de desarrollo sectorial, como base para lograr una correcta y efectiva gestión del cambio climático. Para ello, la política propone un conjunto de

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

estrategias comunes, regionales y sectoriales (con un impacto significativo en la adaptación y mitigación), con orientaciones en su articulación (definiendo la lógica de su interacción) y en busca de mejorar el conjunto de diferentes estrategias, de criterios y factores en la misma región, necesarios para vincular el análisis adaptativo y de mitigación a decisiones relevantes para el desarrollo. (IDEAM, 2020)

La necesidad estatal de gestionar e inspeccionar el uso de las riquezas naturales y la calidad ambiental, con el fin de asegurar la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida, se refleja en las políticas ambientales generales. Además, incluye un grupo de principios generales, estándares y lineamientos que desarrollan estrategias para proteger el medio ambiente, mejorar las condiciones ambientales y, en algunos casos, específicamente, abordar temas ambientales prioritarios. Por ello, las diferentes Secretaría Distrital responsable del medio ambiente, han desarrollado políticas públicas, de manera participativa y coordinada por los distintos actores que conforman la ciudad: Política de Manejo de Tierras de Conservación, Gobernanza de Conservación de la Biodiversidad, Protección y Bienestar Animal, Educación Ambiental, Humedales y salud ambiental. (Secretaria de Ambiente, 2019)

Los sistemas de alerta temprana se inician a desarrollar durante la primera guerra mundial con la función de proteger a la población de los países involucrados, posteriormente a esta crisis, se realiza la primera conferencia, al identificar un crecimiento en la periodicidad y dureza de fenómenos que causaban desastres, de igual forma, se podía comparar que había países con mejor preparación, por lo que podían avisar a sus poblaciones oportunamente reduciendo la afectación de estos desastres. (Coordinación Nacional de Protección Civil , 2021)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

En Colombia se presentaron muchos de estos fenómenos como erupciones volcánicas, sismos importantes e inundaciones, por eso, una de las múltiples tareas que tiene la UNGRD, hoy día, es la implementación de los sistemas de alertas temprana, que favorecen la reducción de los riesgos en las comunidades del país. Esta herramienta es importante y consta de cuatro mecanismos.

El primero es el conocimiento del riesgo, sabiendo donde vivimos, a que amenazas estamos expuestos y cuáles son nuestras vulnerabilidades, lo que nos permite estar preparados. Segundo, es necesario tener redes de instrumentación y monitoreo para los fenómenos, que permitan, construir con la información recolectada, umbrales que generan mecanismos para manifestar a tiempo la oportunidad de reducir el riesgo de desastre.

Tercero, hace de referencia a la implementación de mecanismos de difusión y comunicación de las alertas, debe presentarse con mensajes claros y oportunos hacia la comunidad en riesgo.

Cuarto, ejecución de planes de acción como población y con los entes responsables de esta tarea para medir la capacidad de respuesta. (Coordinación Nacional de Protección Civil , 2021)

De acuerdo, con lo anterior el EPA SWMM para la simulación y modelación de inundaciones urbanas, se puede considerar como un sistema de alerta temprana, que permite dar soluciones para evitar la ocurrencia de estos fenómenos al ser aplicado de manera integral en los sistemas de drenaje pluvial.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

El crecimiento de los desastres naturales en todo el mundo ha causado enormes pérdidas monetarias, ambientales y humanas. Los métodos de alerta temprana se desarrollaron como un instrumento para mitigar la huella de estos sucesos, sobre los cuales lamentablemente existe mucha indagación dispersa, que confunden el accionar. Es relevante para los métodos de alerta temprana en Colombia, algunas sugerencias para el mejor uso, en el caso de alerta temprana de inundaciones recomiendan el Sistema Global de Alerta de Inundaciones (GFAS, 2006) que proporciona información, pronósticos y advertencias muy útiles y de libre acceso. Tiene mapas que muestran información sobre la precipitación a lo largo del tiempo, rastrea y monitorea algunos de los ríos, embalses y lagos. También está, el Observatorio de inundaciones de Dartmouth, que proporciona estimaciones de precipitaciones, imágenes satelitales y la información sobre inundaciones importantes, sin embargo, no suministra pronósticos de lluvias o inundaciones. A nivel regional, existen los siguientes sistemas: El método Europeo de Alerta de Inundaciones EFAS, 2010 proporciona datos sobre eventos de inundación de tres días de anticipación y suministra una descripción general de las inundaciones principales. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 1970) proporciona exámenes y pronósticos de las situaciones hidrológicas en los principales afluentes de Estados Unidos. Que brinda datos sobre precipitaciones que logran producir inundaciones repentinas con seis horas de anticipación y el Sistema Centroamericano de Alerta Temprana (SATCA, 2007), que recolecta información hidrometeorológica de organismos globales, y la región responsable de monitorear los fenómenos que generan desastres naturales en Centroamérica. (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Los métodos de drenaje urbano SUDS, contemplan una variedad de soluciones que incluyen la planeación, diseño y organización de las aguas lluvias, dándole igual categoría a los aspectos medioambientales y de carácter social como a los hidrológicos e hidráulicos. Los SUDS se pueden aplicar como opción a los métodos de drenaje tradicionales o trabajan en conjunto con ellos siendo estos reutilizados. (Doménech & Perales, 2008)

Los sistemas urbanos de drenaje son soluciones que permiten mitigar las deficiencias en los sistemas convencionales de drenaje, con cualidades como: Disminuir el volumen de escorrentía protegiendo el ciclo natural del agua y apoyando la gestión de riesgo de inundaciones, evitando que la carga de contaminantes que son producidos antrópicamente sea arrastrada a los cauces naturales. Fortalece los ecosistemas creando un mejor entorno y hábitat. (Vince Studio, 2021)

Debido a lo anteriormente mencionado, surge la necesidad de crear la modelación y simulación de sistemas de drenaje sostenible que evite inundaciones urbanas.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CAPITULO IV. EPA SWMM PARA LAS SIMULACION Y MODELACION DE INUNDACIONES URBANAS EN LA CIUDAD DE CÚCUTA.

La rápida expansión y crecimiento de la población en las ciudades producen cambios y desequilibrios en el ciclo hidrológico debido a la contaminación, modificaciones por cambios en los escenarios naturales debido al crecimiento de superficies impermeables, lo que genera eliminación de revestimiento vegetal disminuyendo la capacidad de infiltración de aguas pluviales, generando problemas de drenaje que incrementan excesivamente los caudales máximos; y complicaciones de la gestión del agua de lluvia por el aumento de la escorrentía, que se vio agravada por la capacidad limitada de los colectores existentes y el aumento de la intensidad de las lluvias. (Abellan, 2016)

La problemática que se muestra por la falta de Sistemas urbanos de drenaje pluvial exige de herramientas como la modelación y simulación, se hace visible la oportunidad de contar con un programa que admita identificar todos los riesgos y peligros que pueden hallarse en un lugar, esto con el fin de crear políticas e inversiones que mitiguen el fenómeno de inundaciones urbanas. Para este trabajo se toma como zona de estudio la Ciudad de Cúcuta, que es una de las más vulnerables a este tipo de desastres, en el departamento del Norte de Santander.

Consultando el documento el Plan Estratégico Ambiental Regional en el cual participa la gobernación de Norte de Santander, CORPONOR y Parques Naturales, de donde se toma información importante para ahondar el tema de Cúcuta. San José de Cúcuta es la capital del departamento de Norte de Santander, establecido como el centro del área metropolitana de Cúcuta, con una longitud 1160 Km², con una población, según el censo de 2020 de 777.000 habitantes. por su ubicación es importante tener en cuenta la frontera con Venezuela, por la

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

dinámica que en ella se desarrolla. Se establece que la zona urbana está ubicada geográficamente en el valle homónimo (en áreas fronterizas con Venezuela), con una altitud promedio de 320 msnm, a diferencia de la zona rural que se distribuye por la cordillera Oriental (de los Andes colombianos) con altitudes hasta los 2300 msnm. Sus principales fuentes hídricas son: la cuenca Pamplonita (de la goza de 25 Km de sus costados), la cuenca de Zulia y la cuenca Táchira siendo la frontera natural para los países entre Colombia y Venezuela. Presenta temperatura media de 30 °C y temperatura máximos de 35 °C a lo largo del día, con disminución de la temperatura en la noche hasta los 23 °C. Registra en promedio una precipitación media anual de 806 mm en la ciudad. Donde Aguas Kpital Cúcuta E.S.P es la encargada del servicio de agua potable y alcantarillado, (Agua Kpital Cúcuta E.S.P, 2021) siendo abastecida por los ríos Pamplonita y Zulia. Según el periódico “La opinión” Cúcuta cuenta en la actualidad con un moderno centro de gestión del riesgo, el que fue entregado al municipio a finales del año 2017, que contribuye a la articulación de planes de gestión del riesgo a nivel específico de la ciudad, departamental y nacional. (La Opinión, 2017) Se considera, que, con estos avances en la gestión del riesgo, se mejorar la eficiencia para afrontar estos eventos.

Cabe resaltar que para el año 2012 el número de viviendas en el departamento eran de 341.641, de las cuales el 78% está localizado en el área urbana y el 22 % restante en el área rural. el número de viviendas en el departamento ha aumentado en un 14.5% para los años 2005 a 2012. a nuestro juicio consideramos que la migración rural, la migración venezolana y sumado a esto el crecimiento de la misma población, son factores incidentes en el aumento de la densidad poblacional urbana. Teniendo en cuenta el valor del déficit en la calidad de vivienda para la media nacional 25.8%, para las viviendas del departamento del norte de Santander y por ende en

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

las de la ciudad Cúcuta el déficit en la calidad de vivienda figuran con un porcentaje del (27.6%) según cifras del DNP; se considera que hay deterioro en la calidad de vivienda; que se agrava en las zonas sub normales y zonas de invasión en donde se adolece de todo tipo de servicios públicos, en especial el agua potable y el método de alcantarillado. (PLAN ESTRATEGICO AMBIENTAL REGIONAL 2016-2035, 2016)

Con sorpresa en la página web de CORPONOR se evidencia que el monitoreo de fuentes hídricas correspondientes a la cuenca Pamplonita, cuenca Zulia y la cuenca Algodonal aun figuran en proceso de elaboración, no hay informes correspondientes a estos estudios.

Cabe decir que en los años 2010-2011 la ola invernal llamada “fenómeno de la Niña” golpeo con fuerza al norte de Santander, siendo uno de los departamentos con mayor vulnerabilidad del país. Para este periodo los fenómenos con mayor recurrencia fueron deslizamiento e inundaciones. Afectando el desarrollo territorial, ya que generó la pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas, poniendo en estado de crisis al departamento.; Sin embargo, esta ola invernal mostro la deficiencia a nivel regional para afrontar este tipo de fenómenos, cada vez más recurrentes, el acceso a la información es más difícil, frenando las mejoras de *gestión* de información hidro climáticas, agravando a su vez, la implementación de herramientas para la generación de alertas tempranas, todo esto, también, dificultan los métodos de organización, ordenamiento territorial, gestión del riesgo y estrategias de ajuste al cambio climático. (Alzate, Rojas, Mosquera, & Ramón, 2014)

Con base en lo ocurrido anteriormente mencionado, el reporte del IDEAM (2021) documentó y pronosticó un aumento en las precipitaciones entre noviembre del 2020 y abril del 2021 en comparación con la data del 2010 pronosticando un incremento del 10% al 40% de

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

lluvias en la zona andina. (IDEAM, 2021) Estos pronósticos fueron evidentes razón por la cual, la Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta, decreto la calamidad pública en el municipio de Cúcuta, al presentarse lluvias con fuerte intensidad y duración que ocasionaron situaciones de riesgo tales como: inundaciones, deslizamientos, colapso de canales, taponamiento del sistema de alcantarillado en vías, entre otros. Así mismo, la Secretaría de Gestión del Riesgo identificó afectaciones en área urbana y rural, con un total de 44 barrios y asentamientos damnificados, 218 viviendas destruidas, a su vez, 270 familias en situación de riesgo inminente, cuatro vías y tres acueductos que necesitan reparación para no agravar la calamidad. (Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta, 2020)

La problemática por la falta de sistema de alcantarillado en el barrio Crispín Duran en la comuna 7 de Cúcuta, produce inundaciones de hasta 1 metro de altura en la comunidad, cuando se presentan lluvias torrenciales, ya que las aguas lluvias no encuentran un cauce por el cual se desagüen, generando afectación en la población por el estancamiento de aguas y lodos, lo que ocasiona enfermedades sanitarias, por focos de bacterias y picadura de insectos, pérdidas materiales y afectación de vías de acceso. (Oriente Noticias Canal TRO, 2020)

La alcaldía de Cúcuta el 27 de abril del 2021 reportó emergencia por fuertes lluvias con afectaciones en las comunas 3, 6, 8, 9 y 10. Donde las más afectadas fueron la comuna 3 y 9 con situaciones de inundaciones, fallas estructurales, colapso de canales y desbordamiento de fuentes hídricas, simultáneamente, en los corregimientos Guaramito y San Pedro se presentaron afectaciones por desbordamiento de un caño y una quebrada según lo reportado por la “secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres de Cúcuta”. (Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta, 2021)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

El principal punto de incidencia de inundaciones en la ciudad se produce en el canal de Bogotá, siendo este un drenaje natural que evacúa las aguas pluviales de más del sesenta por ciento de la zona urbana de Cúcuta y recorre la ciudad con a lo largo de 15 kilómetros, a partir del barrio Magdalena hasta el río Pamplonita, en la parte superior de la Cárcel Modelo. (La opinion, 2021).

El hecho más reciente fue reportado por: Huber Plaza Villamizar (2021) secretario de gestión del riesgo de Cúcuta indicó que el 01 de noviembre del 2021 se presentó desbordamiento del río Zulia afectando algunas veredas con inundaciones en la zona. Además, se reportaron afectaciones que van desde caídas de techos y fallas de algunos canales de drenaje en localidades urbanas dejando daños materiales. (Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta, 2021)

La gestión de la alcaldía actual de Cúcuta está ejecutando y entregando obras de alcantarillado pluvial en las urbanizaciones más afectadas por inundación. por ejemplo, el 12 de agosto del 2021 se entregó a la comunidad del barrio Heliópolis la red de alcantarillado pluvial, del que estuvo privado de este servicio por más de 2 décadas, con la que se busca atrapar las aguas de escorrentía y aguas lluvias, permitiendo mitigar el riesgo por emergencias debido a la segunda ola invernal, impactando positivamente a la comunidad que vio superado en parte este problema por la inexistencia como ya se dijo del sistema de alcantarillado. (Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta, 2021). Además, los barrios San Miguel, Cundinamarca y Gaitán están siendo intervenidos por la empresa de “aguas Kapital de Cúcuta, con obras de reposición de alcantarillado que benefician a más de 2000 familias mejorando el sistema de alcantarillado pluvial, por lo que anteriormente, presentaba deficiencias en la red, debido al tiempo de instalación y al crecimiento poblacional en la zona”. (Canal TRO, 2019), como se ha venido

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

diciendo, el aumento de la población al área metropolitana de Cúcuta, por migración de venezolanos y retornados colombianos ha acrecentado la capacidad del territorial. (Oriente Noticias Canal TRO, 2019) produciendo asentamiento en zonas susceptibles a fenómenos de inundaciones que pueden causar pérdidas materiales y humanas.

La noticia de las lluvias presentadas en la capital del norte de Santander el 28 de abril del 2021 demuestran el comportamiento anormal de las precipitaciones ya que fueron intensas y extensas con duraciones de más de 10 horas, lo que ocasionaron un colapso de sistemas de drenaje natural y artificial convirtiéndose en inundaciones las culés afectaron a 26 familias, con caída de árboles, el derrame de combustibles, colapso de canales, daños en la red de alcantarillado y la red eléctrica, etc. (La Opinión, 2021)

Con la modelación y simulación de los drenajes existentes se permite verificar cuales son los principales puntos donde se produce el colapso en el sistema de drenaje actual. se hace necesaria la compilación de datos histórico en las entidades públicas y privadas, como alcaldía municipal de San José de Cúcuta, Gobernación de Norte de Santander, CORPONOR, IDEAM, IGAC, Universidades, entre otras, para analizar esta información, incluyendo las herramientas de gestión a las que tiene acceso el municipio, en el tema, objeto de estudio. De igual manera se analizan las soluciones ya planteadas y los impactos sobre la población.

Es conveniente realizar el reconocimiento del terreno y la obtención de datos de campo para hacer un diagnóstico inicial del área de trabajo, determinando zonas de inundación e identificando las huellas ambientales, sociales y económicos que generan. En estos sitios de trabajo se realizan levantamientos topográficos para poder iniciar con el montaje de toda esta información a un sistema de información geográfica, geolocalizando las curvas de nivel en el

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

lugar de estudio. (Pajaro, 2014). Una vez logradas las curvas de nivel se sigue con realizar la delimitación de las subcuencas, esto se hace inicialmente identificando las corrientes superficiales, se procede a efectuar la modelación hidráulica e hidrológica, para lo cual se usa el software libre EPA-SWMM, donde se incluye la data del trazado de las subcuencas asignándole las medidas necesarias como: el área, anchos, pendiente media, y otros mecanismos mencionados en capítulos anteriores. Para diseñar el modelo hidrológico se hace la suposición que existen canales interconectados. Una vez cargados estos modelos se introduce al software datos de intensidad de lluvias con ciclo de retorno, manipulando registros pluviométricos históricos, de la estación más cercana a la zona de estudio, en el caso de la ciudad de Cúcuta se utiliza los datos obtenidos del aeródromo Camilo Daza, que se encuentra ubicado en Cúcuta, capital del departamento de Norte de Santander, y se encuentra localizado a 2 km del centro de la ciudad, Con clave de identificación SKCC de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 80097 código OMM y CUC código IATA. (IDEAM, 2012). Una vez se obtienen los parámetros para el modelo hidrológico, se insertan los parámetros para el cálculo del modelo hidráulico, para esto se dibujan los objetos de la red drenaje y se les asignan los respectivos parámetros, para el caso de estudio se tendrán en cuenta los factores que en las visitas técnicas al terreno tuvieron mayor incidencia en la generación de inundaciones, principalmente el canal Bogotá. Terminados estos procedimientos se inicia la simulación del modelo creado. (Pajaro, 2014) En este sentido, se identifican los puntos de falla donde el sistema colapsa y se plantean recomendaciones para su rehabilitación, mejorando el sistema de red con la ejecución de métodos urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), que formen parte integral del paisaje urbanístico.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

De acuerdo con Escobar (2021) los resultados logrados con la utilización de la modelación en SWMM, indican que la evaluación y diseño de sistemas sostenibles de drenaje urbanos SUDS, no son del todo convenientes para áreas pequeñas, por su baja eficiencia en relación al costo beneficio de su implementación, para la mitigación de un evento de inundación. Siendo más compatibles y eficaces con los sistemas convencionales de conducción pluvial al trabajar de la mano, para optimar la calidad del agua, advirtiendo la contaminación por arrastre de contaminantes a los cuerpos receptores de agua, ayudando el sistema de alcantarillado ubicado en zonas de alta pendiente, reducen el efecto de isla de calor en la zona, retiene o reduce la escorrentía. Lo más importante de la aplicación del software SWMM es que permite evaluar el posible comportamiento de un método, en un determinado terreno, el cual es simulado con ayuda de todas las variantes que se requieren como datos de entrada, para su ejecución en el diseño de un método de drenaje urbano, permitiendo una proyección, con datos de entrada y evaluación con resultados factibles de conseguir, para saber si tiene un costo elevado versus a un bajo beneficio. (Ruiz, 2021)

Siendo así, los sistemas de drenaje urbano diseñados con cálculos cotidianos, presentan un alto grado de incertidumbre en el desempeño de los objetivos de diseño, ya que, solo permite comprender la conducta estática de los elementos hidráulicos que lo conforman. En comparación, la ejecución de herramientas de modelación y simulación mediante el uso de SWMM, capaz de generar un conocimiento dinámico de todas las partes hidráulicas que componen un sistema de drenaje urbano (calles, colectores, tuberías, sumideros, accesorios, etc.) mediante el evento de precipitaciones con las variables hidrológicas y climatológicas. Por ende, da la oportunidad de ejecutar excelentes diseños con menor grado de incertidumbre y mayor

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

optimización de tiempo en comparación del procesamiento de datos tradicionales. Además, permite una simulación rápida de los diferentes escenarios, conocer los puntos críticos en el sistema, la capacidad máxima del sistema, el comportamiento a lo largo del tiempo de las precipitaciones, también, permite modificar los escenarios y demás los elementos que componen el sistema, para generar nuevos escenarios, permite modelar sistemas de drenaje como por ejemplo: sumideros de ventana, distribuidos mediante la modelación del SWMM, con una ubicación optima de los elementos que la conforman, reduciendo los niveles de agua en el sistema de drenaje urbano, dando cumplimiento al objetivo de diseño. Asimismo, permite incorporar métodos sostenibles como los SUDS. (Oré, Pedrique , & Venezia , 2008) Es importante resaltar que los SUDS no son la garantía para la reducción del riesgo, pero si se debe resaltar que ayudan a la sostenibilidad de las ciudades en requisitos ambientales sociales y económicos, usados en zonas de altas precipitaciones con gran frecuencia y cantidad.

En resumen, el modelo SWMM es una herramienta gratuita hidrodinámica que contempla mayores servicios amigables con el usuario, aplicado como un software matemático de uso simple pero muy robusto, utilizado desde 1967 con múltiples versiones a lo largo del tiempo, aplicadas en campos de (hidrología e hidráulica) de drenaje urbano, como lo establece la resolución 0330/2017 (Ministerio de vivienda ciudad y territorio,2017) donde insta en el artículo 137 la implementación de modelos de la red de alcantarillado, para el bosquejo del control de inundaciones. De acuerdo con la tesis construida por Rey (2019) aplicada en la red de drenaje urbano en una zona de alta pendiente, para la construir de un diagnóstico que permita identificar con mayor claridad los factores que determinan el riesgo de inundaciones pluviales, se identificó que el modelo SWMM es sensible a una serie de parámetros tales como: análisis de

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

sensibilidad, calibración y validación. Además, se requiere de un análisis hidráulico. Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis de sensibilidad requiere de parámetros tales como: “ancho de las subcuencas, coeficiente de rugosidad para áreas impermeables y áreas permeables en las subcuencas y coeficiente de rugosidad del cauce”. con la finalidad de mejorar los efectos de calibración, es por esto que se deben modificar e ir ajustando los parámetros anteriormente mencionados, para obtener histogramas que reflejen resultados de los caudales observados en comparación a los caudales simulados con la actual calibración, dando paso al proceso de validación el cual identifica los eventuales caudales pico, arrojando resultados por medio de histogramas, los cuales dan paso al análisis hidrológico donde son identificados por el SWMM, los resultado de la simulación hidrodinámica; arrojan afectaciones por lluvias con duraciones de 25 minutos con daños en 7 zonas críticas el área de urbana de estudio, también, la simulación y modelación permite identificar el instante más crítico presente a los 30 minutos del inicio de las lluvias, agravado por la topografía del terreno la cual aumenta el volumen de escorrentía colapsando la red de drenaje, generando un afectación en la capacidad hidráulica del sistema. (Rey, 2019)

La segmentación de las cuencas hidrográficas genera menores dudas a diferencia de la parametrización de subcuencas las cuales hacen el proceso más difícil. Sin embargo, debido a este reto el modelo SWMM menos actualizado puede arrojar valores razonables según la dimensión de la zona y sin ser calibrado. Además puede ser aplicado en algunas redes de aguas pluviales con datos de información meteorológica para un periodo de 4 años. (Tikkanen, 2013)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Bonilla (2019) y Rey (2019) el diagnóstico de modelación hidrológica en ciudades tales como: Manizales y Cajicá; el software

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

SWMM es una instrumento útil para la toma de decisiones: tales como; para el ordenamiento territorial, índice de construcción riverena, determinación de medidas para el impulso de la infraestructura y para la elaboración de protocolos de emergencias en temporadas de lluvias. En igual forma, la implementación de los SUDS, indican que, la topografía del terreno es factor determinante para el análisis de la escorrentía, en zonas de alta pendiente surten mayor efecto el uso de techos verdes, que permiten la filtración del agua que se conduce a los acuíferos, reducen el caudal de escorrentía y evitan la contaminación del agua. En las zonas planas es más adecuado el uso de techos azules, los cuales se emplean para capturar el agua lluvia y por el sistema de drenaje que poseen evacuan el agua en forma controlada en periodos no mayores a 72 horas, son actos en áreas urbanas con minimas superficies permeables. (Bonilla, 2019)

Debe señalarse, que el software SWMM en cualquiera de sus versiones debe trabajar de manera simultánea con la data recolectada en hojas de cálculo y programas que complementan el desempeño de esta herramienta, requeridas para la alimentación del software, el cual permitirá el procesamiento de la información de manera rápida, permitiendo modificar la información, para generar un diagnóstico proporcional generado por el reporte de simulación del SWMM, los cuales evidencian dos parámetros fundamentales para la evaluación del sistema de drenaje urbano tales como: el cálculo hidráulico y la escorrentía superficial. Es de gran importancia que se mantenga un estándar menor al 5% el cual garantizara un adecuado comportamiento del sistema evaluado, de lo contrario se requiere de una revisión de los datos incorporados en el software, para la identificación de la anomalía que está produciendo el colapso del sistema, debido a una posible acumulación de la escorrentía en los elementos de la red de drenaje, con esta herramienta se hace posible detectar este tipo de problemas y ser reparados o modificados

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

para generar un diagnóstico acertado. Ahora bien, esta herramienta permitió a Saavedra y Silva (2019) determinar que el término de Tunjuelito en Bogotá presenta anomalías por datos que poseen incongruencias generando errores en el diseño. En otra palabra el SWMM es una herramienta que permite realizar la modelación y simulación hidráulica e hidrológica, con un diagnóstico enfocado a la prevención y detección de errores o daños en el sistema de drenaje urbano producido por las precipitaciones con alta intensidad y frecuencia. También, se pueden encontrar falencias en el trazado actual del alcantarillado pluvial, por ejemplo, en Tunjuelito se identificó que el trazado actual del sistema de alcantarillado presenta contrapendientes que generan el estancamiento y consecutivamente el colapso del sistema produciendo inundaciones en el barrio. (Saavedra & Silva, 2019)

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

CONCLUSIONES

Históricamente Cúcuta ha sufrido inundaciones en la mayoría de los barrios que forman el área urbana de la ciudad, en los que ha sido deficiente la Gestión del Riesgo y ante los efectos desastrosos que ha vivido la ciudad, la respuesta de las entidades p

úblicas han sido de poca relevancia, razón por la cual es necesario la sensibilización frente a esta temática para que sean efectivas las políticas de protección ambiental en general y de gestión del riesgo en particular.

Dados los pronósticos sobre el calentamiento global, el cambio climático y acorde a la no implementación responsable y seria de las políticas ambientales, el evento de inundaciones seguirá azotando a la ciudad, que debe prepararse para afrontar y mitigar el impacto de este fenómeno.

Para la ciudad de Cúcuta, el desarrollo de la capital Norte Santandereana, el impacto de la migración de la población rural y de los migrantes venezolanos, ha sido factor determinante en el aumento del número de habitantes, por los asentamientos humanos en lugares de alto riesgo y vulnerabilidad, afectando los sistemas de drenaje natural y artificial y las consecuencias devastadoras especialmente de esta población y en general de todos los habitantes por la mayor ocurrencia de inundaciones.

Es de vital importancia que todas las entidades involucradas en las políticas ambientales, en las de Gestión del Riesgo de Desastres y la población en general, asuman de manera responsable y articulada respuestas para la prevención y mitigación del riesgo de inundación.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Es de urgente necesidad consolidar un modelo de gestión del drenaje urbano, que sea sostenible e integral, desde el cambio de paradigmas en relación con el establecimiento de un drenaje independiente de las aguas pluviales y residuales, teniendo claro los obstáculos que es el drenaje actual, proyectándose en diseños urbanísticos que contemplen este nuevo tipo de sistemas de drenaje, en donde se use el agua lluvia para mejorar la oportunidad de agua potable.

El SWMM, aplicando de forma responsable y precisa en sus módulos hidrológicos e hidráulico, permiten identificar con gran precisión los puntos de falla donde el sistema colapsa garantizando las correcciones in situ con gran precisión para reducir el impacto que pueda generar la repetición de una inundación.

El SWMM, por su confiabilidad puede adaptarse como un método de alerta temprana, ya que da la oportunidad de ver con anticipación el comportamiento de la red de drenaje, para tomar correctas decisiones frente a las problemáticas que se plantean. Permitiendo la mitigación de la emergencia, disminuyendo el gasto económico que esta genera, además de los desastres que causa. Vale la pena señalar que la inversión en el modelo es insignificante en relación a los costos que deja la catástrofe.

La ejecución y utilización de este software permite dar un diagnóstico en tiempos razonables para las cuencas, identificando la cota máxima de inundación, la dinámica de inundabilidad, tiempos máximos de duración y zonas afectadas. En igual forma, este modelo se puede replicar con relativa facilidad en cualquier terreno urbano vulnerable a inundaciones por eventos extremos de lluvias.

En conclusión, el uso del software SWMM, por su versatilidad y facilidad de manejo puede ser empleado con un alto grado de confiabilidad, para generar diagnósticos oportunos que

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

permitan mitigar la afectación producida por las precipitaciones que generan un colapso del sistema de drenaje urbano. De este modo, se pueden emplear modelaciones que permitan identificar la aplicación medidas convencionales o actuales como: los SUDS más adecuados para la zona de estudio, en relación al costo beneficio y teniendo en cuenta los parámetros que exige el programa, para su adecuado análisis.

A pesar de lo devastadoras que puedan resultar las inundaciones, es innegable el gran beneficio que aportan en la formación de franjas fértiles en las zonas ribereñas dada la riqueza de sedimentos que transportan, creando oportunidades para la agricultura como fuente de recursos alimenticios que aportan seguridad alimentaria.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

BIBLIOGRAFÍA

Flórez Lage, A., & Suavita Bejarano, M. (1997). Génesis y manifestaciones de las inundaciones en Colombia. *Revista Colombiana de Geografía*, 60-110. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6581736>

Fundación Biodiversidad. (2016). *Cambio Climático: Informe de síntesis*. Madrid. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-sintesis-resumida_tcm30-376937.pdf

Vallejo , A., & Córdova, M. (2012). Riesgos urbanos en América Latina. *Revista Letras Verdes*, 1-3.

Abellan, A. (2016). Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua. *iaqua*.

Alarcón Alba, N. A., Bernal Calderón, P. A., & Rivera Quintero, L. X. (2017). *repository.ugc.edu.co*. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5547/Metodologia%20para%20la%20evaluaci%c3%b3n%20de%20amenaza%20por%20eventos%20de%20avenida%20torrencial%20a%20escala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alarcón, I. (2020). *elcomercio.com*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-perdida-mitad-cobertura-glaciar.html>

Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta. (03 de 11 de 2020). *cucuta-nortedesantander.gov.co*. Obtenido de <http://www.cucuta-nortedesantander.gov.co/noticias/consejo-municipal-de-gestion-del-riesgo-recomienda-decretar>

Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta. (02 de 11 de 2021). *cucuta-nortedesantander.gov.co*. Obtenido de <http://www.cucuta-nortedesantander.gov.co/noticias/balance-de-afectaciones-en-cucuta-tras-los-fuertes-aguaceros>

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta. (12 de 08 de 2021). *cucuta-nortedesantander.gov.co*.

Obtenido de <http://www.cucuta-nortedesantander.gov.co/noticias/la-alcaldia-de-cucuta-entrega-alcantarillado-pluvial>

Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., & Ramón, J. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA PARA EL PERIODO 1981-2010 EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ZULIA Y PAMPLONITA, NORTE DE.

Angheben, E., Romanazzi, P., Calvetty Ramos, G., & Bonardo, L. (2017). *APLICACIÓN DEL MODELO SWMM PARA EL DIAGNÓSTICO DE UN SISTEMA*.

Aragón , F., & Durand. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina/*. Lima : Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-18338. Obtenido de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19850/InundacionesCuencasUrbanasLATAM%28Aragon_2014%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Asociacion ambiente y sociedad . (24 de 01 de 2020). *ambienteysociedad.org.co*. Obtenido de <https://www.ambienteysociedad.org.co/colombia-se-derrite/>

BBC News Mundo. (12 de 8 de 2021). 5 revelaciones del informe de la ONU sobre cambio climático y qué dice sobre América Latina. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=4QEW0DHWIlg&ab_channel=BBCNewsMundo

Bendito extranjero. (20 de 11 de 2017). Los 10 países latinoamericanos que van a desaparecer.

Benditopoder. (2020). Los 8 PAÍSES que MÁS se HUNDIRÍAN en América Latina. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=jSU45cAaVAM&ab_channel=BenditoPoder

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

- Bonilla, L. F. (2019). Evaluación de la influencia de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la reducción del riesgo de inundación urbana. Colombia: Universidad de los Andes. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/44738>
- Bulgakov, G. (2020). Ciudades de Latinoamérica que podrían quedar bajo agua por el cambio climático. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=f8xT90Ackyc&ab_channel=TOPDEIMPACTO
- Cadena, M. C. (2010). *deam.gov.co*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/Amenazas+Costeras.pdf/2d134cc7-063e-43c3-8ef2-c76fa25c1cdd>
- Caicedo Pabón, J. D., Eslava Ramirez , J. A., & Gómez Torres, R. E. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. . *Meteorologia colombiana*,, 47-59.
- Canal TRO. (06 de 09 de 2019). Aguas Kpital realiza reposición de alcantarillado en Cúcuta. Cúcuta, Norte de Santander , Colombia.
- CNN en Español. (22 de 04 de 2021). Este niño de 11 años tiene más conciencia ambiental que muchos adultos. España.
- comision europea. (2021). *ec.europa.eu*. Obtenido de https://ec.europa.eu/clima/climate-change/climate-change-consequences_es
- Coordinación Nacional de Protección Civil . (4 de 10 de 2021). Sistemas de Alerta Temprana, qué son (1). Ciudad de México.
- Daza, C. M. (2017). *MODELACION DEL DRENAJE PLUVIAL EN CIUDADES INTERMEDIAS EN*.

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

- Dolz, J., & Gomez, M. (1994). *Ingenieria del agua* (Vol. 1). Catalunya: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de https://watermark.silverchair.com/ia19942631.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAogwggKEBgbqhkIG9w0BBwagggJ1MIICcQIBADCCAmoGCSqGSib3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM6T0j83Y0i4Xd9u1OAgEQgIICO1TrXwScpKl8Jkw8s5PznF-8p7yqAqw615j25bc-Pv9u
- Dolz, J., & Gómez, M. (s.f.). *watermark.silverchair.com*. Obtenido de https://watermark.silverchair.com/ia19942631.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAogwggKEBgbqhkIG9w0BBwagggJ1MIICcQIBADCCAmoGCSqGSib3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM6T0j83Y0i4Xd9u1OAgEQgIICO1TrXwScpKl8Jkw8s5PznF-8p7yqAqw615j25bc-Pv9u
- Doménech, I., & Perales, S. (2008). Momparler, S. P., & Andrés-Doménech, I. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Revista técnica de medio ambiente. C&M publicaciones*, 92-104.
- Domínguez, L. (2020). *Ecuador ha perdido más de la mitad de su cobertura glaciar*. Obtenido de <https://www.glaciareschilenos.org/notas/ecuador-ha-perdido-mas-de-la-mitad-de-su-cobertura-glaciar/>
- Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturale*, 321-333.
- DW Documental. (11 de 7 de 2020). El incremento del nivel del mar 2020 | DW Documental. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=ON9jec35pjE&t=180s&ab_channel=TopDocumentalBestDocumentary

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

- Enterprise Community Partners. (2019). *keepsafeguide.enterprisecommunity.org*. Obtenido de <https://keepsafeguide.enterprisecommunity.org/es/evite-el-reflujo-de-aguas-negras-los-hogares>
- Ferrer, A. (2007). *Estudio de la vulnerabilidad de una red de drenaje mediante el método de Monte Carlo*.
- García, M., Sanchez, F., Marín, R., Guzman, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortes, G. (s.f.). El agua. Colombia . Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- Gascón, M. (2005). HISTORIA Y DESASTRE NATURAL. LA CIUDAD LATINOAMERICANA Y LAS INUNDACIONES. *Revista de Historia Actual*, 115-125. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/38873>
- GMF. (2005). Obtenido de http://www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf
- Gómez, C. V., E, M., & Prause Perez, J. (2014). Áreas de riesgo de inundación pluvial en la Provincia del Chaco. *FACENA*, 3-18.
- Hancock, L. (11 de 06 de 2019). *Fondo Mundial para la Naturaleza. WWF* . Obtenido de <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/la-degradacion-de-los-bosques-por-que-afecta-a-las-personas-y-la-vida-silvestre>
- iberdrola.com. (2021). *iberdrola.com*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/fenomenos-meteorologicos-extremos>
- IDEAM . (11 de 04 de 2021). *www.ideam.gov.co*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales : <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

IDEAM. (2012). *ideam.gov.co*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/290086/75945771/SKCC/06570384-77ab-4ee2-84d4-a975b8f814da>

IDEAM. (2020). *cambioclimatico.gov.co*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico.gov.co/directorio-del-cambio-climatico>

IDEAM. (2021). *ideam.gov.co*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia>

IDEGER. (5 de 11 de 2021). *idiger.gov.co*. Obtenido de Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático: <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

Izquierdo, N. V. (2009). *Instituciones.sld.cu*. Obtenido de

<https://instituciones.sld.cu/cedas/files/2015/03/MODELACIoN-Y-MODELOS.pdf>

J , F., & A, F. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *REVISTA DE URBANISMO*, 25-42.

La Opinión. (12 de 2017). Cúcuta ya cuenta con un centro de Gestión Integral del Riesgo.

La Opinión. (28 de Abrli de 2021). *aopinion.com*. Obtenido de

<https://www.laopinion.com.co/cucuta/cucuta-se-inundo-por-12-horas-de-intensas-lluvias>

La opinion. (2021). Continúa la recuperación integral del canal Bogotá. *La opinion*.

Madero Villalta, G. e., & Ponce Recalde, M. A. (2019). *Análisis de efectividad de las técnicas LIDs para el control de inundaciones en el sistema de drenaje urbano de la microcuenca Mirador Sur - Quito usando SWMM 5.1*. Quito.

Mayz, L., Medina, Y., & Dale, M. (2018). *ing.ucv.ve*. Obtenido de

<http://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/ambiente/AIS064.pdf>

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

MyMaster, V. (4 de 05 de 2020). Código Rojo (2018) Episodio 1: Inundaciones. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=9hGBnuHnIrl&ab_channel=VictorMyMaster

Oré, H., Pedrique, J., & Venezia, A. (2008). Evaluación y diseño de sistemas de drenaje urbano

mediante el uso del modelo SWMM 5.0. *Gaceta Técnica*.

Oriente Noticias Canal TRO. (13 de 03 de 2019). Aumentó a 55 mil los venezolanos que llegaron al área

metropolitana de Cúcuta. Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=GRBAGIMVHF0&ab_channel=OrienteNoticiasCanalTRO

Oriente Noticias Canal TRO. (20 de 11 de 2020). Barrio Crispín Durán, en Cúcuta, necesita

alcantarillado. Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Pajaro, M. G. (2014). *Manglar.uninorte.edu.co*. Obtenido de

<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8226/115690.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paniagua, Y. G. (26 de 9 de 2013). Amenazas naturales: inundaciones. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=-rv29kFYiA&ab_channel=Profeenc%40sa

Paragon Decision Science. (s.f.). *Paragon.com.br*. Obtenido de

<https://www.paragon.com.br/es/academico-2/que-es-simulacion/>

PLAN ESTRATEGICO AMBIENTAL REGIONAL 2016-2035. (12 de 2016). San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Obtenido de

https://corponor.gov.co/PLANES/PLAN%202016_2035/3.%20CAPITULO%20DIAGNOSTICO-PLANEAR.pdf

PULGARIN, K. M. (31 de 07 de 2018). ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA

DETERMINACION DE LAS AREAS DE INUNDACION EN LA ZONA URBANA DEL

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

- MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER BASADO CON LA HERRAMIENTA SIG. Ocaña, Norte de santander, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/1811>
- Rey, D. M. (2019). Propuesta de sistema de drenaje de urbano sostenible para cuencas de montaña con alta pendiente. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76582>
- Rojas , O., Mardones, M., Arumi, J., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57: 177-192.
- Ruiz, G. I. (2021). Sistemas de drenaje urbanos sostenibles SUDS. *Universidad de Alcalá*.
- Saavedra, J. A., & Silva, P. V. (2019). Modelación de la red de alcantarillado pluvial del barrio tunjuelito en la ciudad de Bogotá utilizando la herramienta EPA- SWMM. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5486/MODELACION%20DE%20REDES%20DE%20ALCANTARILLADO%20PLUVIAL%20DE%20BARRIO%20TUNJUELITO%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez Román, L. A., & Martínez González, Y. (2012). Inundaciones pluviales en una cuenca urbana aplicando el método de ponderación mixta. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 33, no 2, p. 90-105 p.
- Sanchez, A. (2007). Acciones sociales e inundaciones en el medio urbano. *Ambientico*, 8-9.
- Sarmiento Prieto, Arboleda Toro, J. P., Roa Bedoya, N., Cotte, J. I., Pino Rivera, W., & Colombiana, P. (1990). *repositorio.sena.edu.co*. Obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/3428/inundaciones.pdf?sequence=1>

SWMM PARA INUNDACIONES URBANAS

Secretaria de Ambiente. (2019). *ambientebogota.gov.co*. Obtenido de

<https://ambientebogota.gov.co/politicas-ambientales>

SIAC. (2021). *siac.gov.co*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/ninoynina>

SWMM5vE. (s.f.). Obtenido de <http://www.fluidos.upv.es/swmm/>

TECPA. (s.f.). Obtenido de <https://www.tecpa.es/swmm-que-es-para-que-sirve/>

Tikkanen, H. (2013). Modelización hidrológica de una gran cuenca de captación urbana utilizando un

modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM). *Aaltodoc*. Obtenido de

<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/27496>

UNGRD. (2012). *Normatividad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá:

Printed in Colombia.

UNGRD. (15 de 08 de 2015). Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - Vídeo Introducción.

Colombia.

UNGRD. (2018). Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes. Bogotá, Colombia.

Obtenido de https://www.preventionweb.net/files/62193_atlasriesgo1.pdf

VELANDIA, J. C. (2014). *repository.ucatolica.edu.co*. Obtenido de

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2128/1/Gesti%C3%B3n_riesgo_desastres_inundaciones_%20Colombia_mirada-cr%C3%ADtica.pdf

Vince Studio. (19 de Febrero de 2021). *Vincestudiocr.com*. Obtenido de

<https://vincestudiocr.com/blog/que-son-los-drenajes-sostenibles/>