



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**CAMBIO EN LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN CUATRO  
SUBCUENCAS DEL SUR DE LA CIUDAD DE MORELIA,  
MICHOACÁN, 1995-2050**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

**P R E S E N T A:**

**YUNUEN REYGADAS LANGARICA**

**ASESOR: M. EN C. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA**

---

## Índice general

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1. Marco teórico-conceptual</b>	4
1.1. Amenazas	4
1.1.1. Procesos asociados	4
1.1.2. Particularidades	6
1.2. Inundaciones	9
1.2.1. Factores involucrados	10
1.2.2. Tipos	20
<b>Capítulo 2. Contexto histórico-geográfico del área de estudio</b>	22
2.1. Experiencias investigativas	22
2.2. Antecedentes territoriales	31
2.3. Características geográficas	43
<b>Capítulo 3. Materiales y métodos</b>	48
3.1. Materiales	48
3.2. Métodos	48
3.2.1. Estimación del volumen de escurrimiento	49
A. Cálculo de la precipitación	54
B. Elaboración de mapas de cubierta y uso del suelo	57
C. Determinación del grupo hidrológico del suelo	59
D. Integración de la información en la ecuación	61
3.2.2. Modelado de la amenaza de inundación	62
A. Simulación de la acumulación del escurrimiento	62
B. Estimación del potencial topográfico de inundación	64
C. Cálculo del período de retorno	65
D. Determinación del cambio en la amenaza de inundación	65
3.2.3. Validación	66
<b>Capítulo 4. Resultados y discusión</b>	68
4.1. Resultados	68
4.1.1. Volumen de escurrimiento	68
A. Precipitación	68
B. Cubierta y uso del suelo	72
C. Grupo hidrológico del suelo	81
D. Ecuación	84
4.1.2. Amenaza de inundación	97
A. Acumulación del escurrimiento	97
B. Potencial topográfico de inundación	100
C. Período de retorno	103
D. Cambio en la amenaza de inundación	106
4.1.3. Validación	108
4.2. Discusión	110
4.2.1. Con respecto al cambio en la amenaza de inundación	110
4.2.2. Con respecto al método	114
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	117
<b>Bibliografía</b>	121
<b>Anexos</b>	127

---

## Índice de cuadros

Cuadro 1.1.	Tipos de factores que contribuyen a la formación de inundaciones	11
Cuadro 2.1.	Cuenca Río Grande: balance hidrológico	25
Cuadro 3.1.	Números de curva para áreas urbanas	51
Cuadro 3.2.	Número de curva para áreas no urbanas seleccionadas	52
Cuadro 3.3.	Clasificación de condiciones antecedentes de humedad	53
Cuadro 3.4.	Números de curva para cada condición antecedente de humedad	53
Cuadro 3.5.	Prueba de recorrido: límites de distribución normal	56
Cuadro 3.6.	Prueba de recorrido: intervalos para el número de cambios de acuerdo con la cantidad de años de la serie climática	56
Cuadro 4.1.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 1995	74
Cuadro 4.2.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 2011	76
Cuadro 4.3.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 2050	79
Cuadro 4.4.	Área de estudio: números de curva (CN <sub>II</sub> )	86
Cuadro 4.5.	Estación meteorológica Morelia: período de retorno de un evento de tormenta mayor a 30 mm/día durante el mes de septiembre	103
Cuadro 4.6.	Estación meteorológica Jesús del Monte: período de retorno de un evento de tormenta mayor a 30 mm/día durante el mes de septiembre	104
Cuadro 4.7.	Área de estudio: coincidencia espacial entre la amenaza de inundación (2011) y la susceptibilidad a inundaciones de Corona (2009)	109

## Índice de figuras

Figura 1.1.	Factores que participan de manera constante en las inundaciones	11
Figura 1.2.	Tipos de precipitación según su origen	14
Figura 1.3.	Influencia de la urbanización en los componentes del ciclo hidrológico	15
Figura 1.4.	Efectos de la urbanización sobre el volumen y las tasas de escurrimiento superficial	16
Figura 1.5.	Influencia de la forma de la cuenca sobre el escurrimiento	19
Figura 2.1.	Ciudad de Morelia: áreas inundables	23
Figura 2.2.	Ciudad de Morelia: susceptibilidad a inundaciones	27
Figura 2.3.	Ciudad de Morelia: vulnerabilidad total de la población en la vivienda	28
Figura 2.4.	Ciudad de Morelia: correlación entre los modelos de inundación y precariedad urbana	29
Figura 2.5.	Ciudad de Morelia: estructura urbana, 1619-2005	40
Figura 2.6.	Ciudad de Morelia: crecimiento y dinámica de la población, 1580-2010	41
Figura 2.7.	Ciudad de Morelia: expansión territorial, 1619-2009	41
Figura 2.8.	Ciudad de Morelia: plan maestro de <i>Altozano la Nueva Morelia</i>	41
Figura 2.9.	Área de estudio: ubicación con respecto a la división político administrativa	43

---

Figura 2.10.	Área de estudio: ubicación con respecto a la red hidrológica	44
Figura 2.11.	Área de estudio: relieve	45
Figura 2.12.	Área de estudio: geología	45
Figura 2.13.	Estación meteorológica Morelia: climograma	46
Figura 3.1.	Escurrimiento generado para un rango determinado de precipitación y números de curva	51
Figura 3.2.	Esquema metodológico utilizado para definir áreas susceptibles a inundaciones	67
Figura 4.1.	Área de influencia de la zona de estudio: estaciones meteorológicas	69
Figura 4.2.	Área de influencia de la zona de estudio: precipitación máxima promedio en 24 horas	69
Figura 4.3.	Área de estudio: precipitación máxima promedio en 24 horas, 1995	70
Figura 4.4.	Área de estudio: precipitación máxima promedio en 24 horas, 2011	71
Figura 4.5.	Ortofotomosaico	72
Figura 4.6.	Fusión de imágenes satelitales	72
Figura 4.7.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 1995	73
Figura 4.8.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 2011	75
Figura 4.9.	Área de estudio: zonas con potencial para la expansión urbana	77
Figura 4.10.	Área de estudio: cubierta vegetal y uso del suelo, 2050	78
Figura 4.11.	Área de estudio: cambio de cubierta y uso del suelo, 1995-2050	80
Figura 4.12.	Área de estudio: cambio en la extensión de cubiertas y usos del suelo, 1995-2050	81
Figura 4.13.	Área de estudio: sitios potenciales de muestreo de suelos y criterios de selección	82
Figura 4.14.	Área de estudio: sitios definitivos de muestreo de suelos	83
Figura 4.15.	Área de estudio: grupo hidrológico del suelo	84
Figura 4.16.	Área de estudio: números de curva (CN <sub>II</sub> )	85
Figura 4.17.	Área de estudio: obtención de los componentes de la ecuación a partir del número de curva (CN <sub>II</sub> )	86
Figura 4.18.	Área de estudio: valores de precipitación máxima promedio en 24 horas que generan escurrimiento de acuerdo con el número de curva, 1995	87
Figura 4.19.	Área de estudio: valores de precipitación máxima promedio en 24 horas que generan escurrimiento de acuerdo con el número de curva, 2011	88
Figura 4.20.	Área de estudio: valores de precipitación máxima promedio en 24 horas que generan escurrimiento de acuerdo con el número de curva, 2050	89
Figura 4.21.	Área de estudio: escurrimiento generado por la precipitación máxima promedio en 24 horas de mayo, 1995-2050	90
Figura 4.22.	Área de estudio: escurrimiento generado por la precipitación máxima promedio en 24 horas de julio, 1995-2050	91
Figura 4.23.	Área de estudio: escurrimiento generado por la precipitación máxima promedio en 24 horas de septiembre, 1995-2050	92
Figura 4.24.	Área de estudio: escurrimiento generado por la precipitación máxima promedio en 24 horas de noviembre, 1995-2050	93

---

---

Figura 4.25.	Área de estudio: escurrimiento generado por la precipitación máxima promedio de mayo, julio, septiembre y noviembre, 1995-2050	94
Figura 4.26.	Área de estudio: aporte de las cubiertas y usos al escurrimiento de cada subcuenca, con base en una tormenta de 30 mm/día en septiembre, 1995-2050	96
Figura 4.27.	Área de estudio: magnitud del escurrimiento acumulado, 1995-2050	98
Figura 4.28.	Área de estudio: cambio en la magnitud del escurrimiento acumulado, 1995-2050	99
Figura 4.29.	Área de estudio: alturas máximas locales y Modelo de Elevación Digital	100
Figura 4.30.	Área de estudio: profundidad relativa del terreno	101
Figura 4.31.	Área de estudio: cauces mayores y unidades de paisaje	101
Figura 4.32.	Área de estudio: potencial topográfico de inundación	102
Figura 4.33.	Área de influencia de la zona de estudio: eventos mayores a 30 mm/día durante el mes de septiembre	105
Figura 4.34.	Área de estudio: elementos que intervienen en el cambio de la amenaza de inundación	106
Figura 4.35.	Área de estudio: cambio en la amenaza de inundación, 1995-2050	107
Figura 4.36.	Área de estudio: Coincidencia espacial entre la amenaza de inundación (2011) y la susceptibilidad a inundaciones de Corona (2009)	108
Figura 4.37.	Área de estudio: aporte de las cubiertas y usos del suelo al escurrimiento generado por una precipitación mayor a 30 mm/día en septiembre, 1995-2050	112

---

## Introducción

La ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, como inundaciones o sequías, ha aumentado de forma acelerada en los últimos decenios. A nivel mundial, entre 1990 y 2005, más de cuatro mil desastres fueron ocasionados por este tipo de fenómenos. En el caso de México, entre 1990 y 2010, se registraron 37 desastres provocados por inundaciones, los cuales significaron la pérdida de más de 1 600 vidas humanas, casi dos millones de habitantes afectados y daños materiales de poco más de cuatro mil millones de dólares (OFDA-CRED, 2011). Las afirmaciones anteriores son particularmente significativas para territorios como el sur de la ciudad de Morelia, donde situaciones como la expansión del casco urbano, al margen o sobre los cauces de los ríos, y la urbanización de porciones altas de las cuencas, pueden contribuir al crecimiento del volumen del escurrimiento y al incremento en el grado de exposición de la población.

Entre los eventos que han causado mayores daños en la ciudad de Morelia, particularmente en la zona sur, destacan los ocurridos en los meses de septiembre de 2003 y 2005. El más reciente fue ocasionado por la precipitación de 75 mm de lluvia en un periodo inferior a dos horas, la inundación afectó 35 colonias, mil viviendas y más de diez mil personas, además, generó pérdidas materiales de varios millones de pesos (Arreygue, 2007 y Corona, 2009). La suspensión de servicios y la pérdida de bienes materiales son ejemplos de consecuencias que actúan en perjuicio de la ciudadanía y que han motivado múltiples investigaciones concebidas bajo diversas perspectivas; entre los estudios realizados destacan los de Corona (2009), Hernández y Vieyra (2010), y varios de Arreygue, *et. al.*, publicados entre 1998 y 2007, además, existen documentos oficiales como el Atlas de Riesgos de Morelia y diversas obras de ingeniería orientadas a la mitigación de la amenaza.

Sin embargo, de acuerdo con los estudios previos, la amenaza de inundación, junto con la vulnerabilidad y el riesgo, se perfilan como procesos cada vez más complejos que están condicionados, en gran medida, por cambios urbanos basados en relaciones de poder que

no toman en consideración planes de mitigación de inundaciones. En este sentido, son necesarias investigaciones actualizadas que faciliten la comprensión del fenómeno y examinen las nuevas tendencias de expansión del área urbana, principalmente, en la Loma de Santa María. Asimismo, es preciso determinar el creciente aumento en la magnitud del escurrimiento, derivado de la expansión mencionada, y considerar los cambios, actuales y futuros, en la amenaza de inundación. Lo anterior permitirá determinar la amenaza que podría enfrentar el sur de la ciudad de Morelia en los próximos años y, en consecuencia, ofrecer algunas recomendaciones para su mitigación.

Con base en estos antecedentes, se planteó la hipótesis siguiente: la urbanización en el sur de la ciudad de Morelia ha aumentado, de forma acelerada, en los últimos decenios; situación que ha ocasionado un crecimiento en el volumen del escurrimiento y, con ello, un incremento en la amenaza de inundación; por lo tanto, de seguir la misma tendencia de expansión urbana, la situación se agravará en los próximos años. Así, esta investigación tiene como objetivo general explorar el cambio en la amenaza de inundación en cuatro subcuencas del sur de la ciudad de Morelia, Michoacán, entre 1995 y 2050 y, como particulares, los siguientes:

- Identificar las posturas teórico-conceptuales sobre la amenaza de inundación.
- Revisar el contexto histórico-geográfico del área de estudio.
- Estimar el cambio en el volumen de escurrimiento.
- Modelar la forma en que el escurrimiento se acumula sobre el territorio.
- Reconocer el potencial topográfico de inundación.
- Determinar los sitios en los que el cambio en el volumen de escurrimiento puede causar inundaciones.
- Validar los resultados finales de la investigación.

En correspondencia con estos planteamientos, esta investigación se estructura en cuatro capítulos. En el primero, se examinan las vertientes cognoscitivas relacionadas con las amenazas y, enseguida, se revisan algunos aspectos relativos a las inundaciones. En el segundo capítulo se muestran algunos trabajos previos al presente relacionados con la

temática de estudio en la ciudad de Morelia y, posteriormente, se describen los acontecimientos históricos asociados con el origen y evolución de los eventos que han modelado el caso urbano; por último, se presentan las características geográfico-físicas más relevantes de la zona de interés.

En el tercer capítulo, se exponen las estrategias metodológicas empleadas durante el proceso de investigación y; en el último, se muestran y discuten los resultados derivados de la aplicación del método del Número de Curva para calcular el volumen de escurrimiento; asimismo, se examinan los productos obtenidos de la simulación de la acumulación de flujo y de la estimación del potencial topográfico de inundación; como característica asociada, se incluyen algunas consideraciones sobre el período de retorno y, enseguida, como fruto de la combinación de los elementos anteriores, se revela el cambio en la amenaza de inundación. Finalmente, se incluye la validación de los resultados finales de esta tesis.