



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

Maestría en Ingeniería Urbana

Tesis

"Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora".

Presenta:

Luis Javier Alvarado Galaviz

Director:

Dr. Arturo Ojeda de la Cruz

Septiembre de 2022

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Macrolocalización
- 1.3 Microlocalización
- 1.4 Planteamiento del problema
- 1.5 Objetivos

Capítulo 2: Revisión Bibliográfica

- 2.1 Sistema de Drenaje Convencional
- 2.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible



Capítulo 3: Metodología

- 3.1 Análisis Hidrológico
- 3.2 Análisis Geográfico aplicando un SIG
- 3.3 Análisis Fisiográfico
- 3.4 Diseño de las estrategias de solución
 - * Alternativa 1
 - * Alternativa 2

Tabla de contenido

Capítulo 4: Resultados

- 4.1 Resultados
 - * Análisis de precipitaciones
 - * Curvas PDTr
 - * Coeficiente C de escurrimiento
 - * Duración de la tormenta de diseño
 - * Método racional para la estimación de caudales
- 4.2 Alternativa de solución 1
- 4.3 Alternativa de solución 2
 - * Diseño del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

- 5.1 Conclusiones
- 5.2 Recomendaciones

Capítulo 6: Referencias

- 6.1 Referencias Bibliográficas

Capítulo 1: Introducción



I.O INTRODUCCIÓN

- ❖ Las nuevas tecnologías y los sistemas convencionales de drenaje sanitario, pluvial y combinados.
- ❖ Eficacia y eficiencia.
- ❖ Alternativas de solución.
- ❖ Necesidades de los usuarios.
- ❖ Inundación por escorrentía.
- ❖ Intensidad de las precipitaciones.

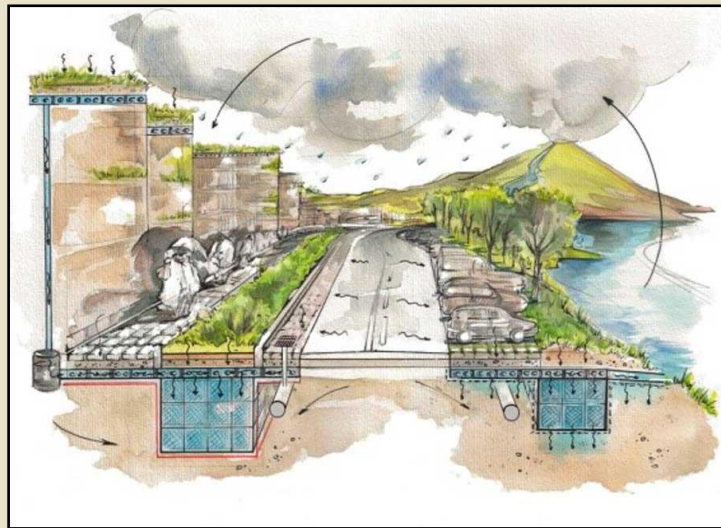


Figura 1.- Ejemplo de aplicación de los SUDS.

Fuente: iagua.es, 2021.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

I.I ANTECEDENTES

- ❖ Crecimiento poblacional.
- ❖ Industrialización y urbanización en Hermosillo, Sonora.
- ❖ Eficiencia de los sistemas de drenaje combinado.
- ❖ Demanda de los usuarios y zonas impermeables.
- ❖ Problemas de inundaciones en zonas bajas.

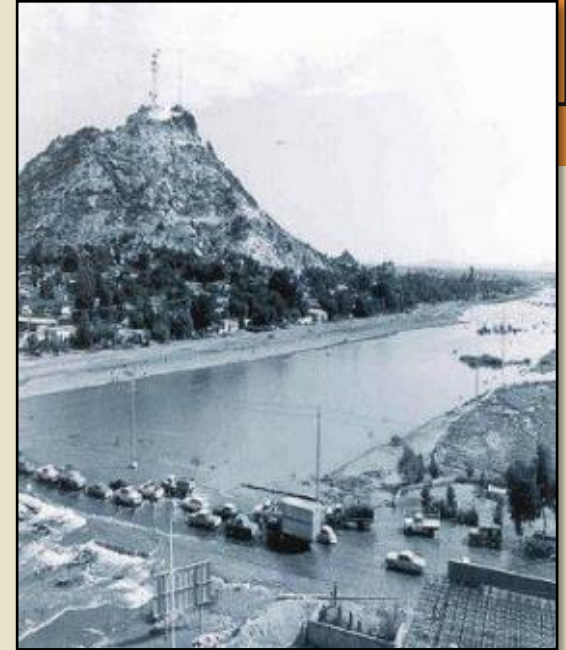


Figura 2.- Río Sonora durante una avenida en 1984.

Fuente: Atlas de Riesgos del Municipio de Hermosillo, 2014.

I.2 MACROLOCALIZACIÓN

- ❖ Localidad urbana de la ciudad de Hermosillo.
- ❖ Altura de 282 msnm.
- ❖ Colindancias con otros municipios.



Figura 3.- Municipio de Hermosillo, Sonora.

Fuente: INAFED, 2021.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

I.3 MICROLOCALIZACIÓN



Figura 4.- Zona de estudio, subcuenca SCC05.

Fuente: Mapa D3 Subcuencas por el IMPLAN, 2010 y Colegio de Arquitectos, 2018.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

- ❖ Características del polígono.
- ❖ Perímetro = 7.22 km.
- ❖ Área = 216 ha.
- ❖ Colonias habitacionales e industriales.



I.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado de Sonora, se presenta el grave problema de la disponibilidad del recurso hídrico, específicamente en la ciudad de Hermosillo. Si bien, la ciudad cuenta con muchas zonas en las cuales se presentan problemas de inundación, el presente estudio se enfoca a la subcuenca SCC05 del IMPLAN.



Figura 5.- Blvd. Solidaridad esquina con Blvd. Juan Navarrete

Fuente: Propia.



Figura 6.- Blvd. Juan Navarrete esquina con Blvd. Las Quintas

Fuente: Propia.



Figura 7.- Blvd. Juan Navarrete esquina con Calzada de los Ángeles

Fuente: Propia.

I.5 OBJETIVOS

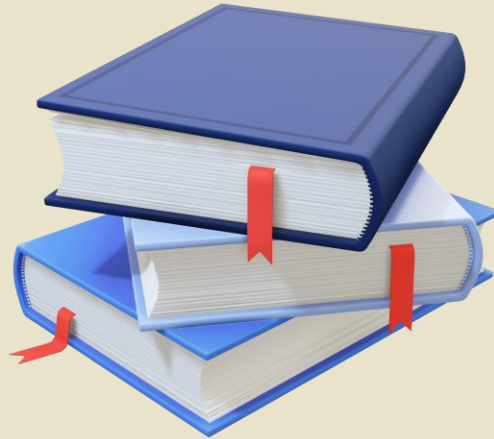
GENERAL

Analizar el flujo de agua superficial derivado de la precipitación pluvial en una cuenca urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora, aplicando Sistemas de Información Geográfica y los principios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, así como la metodología aplicable para la estimación de caudales.

ESPECÍFICOS

1. Identificar la microcuenca urbana y sus escurrimientos posibles para el área de interés.
2. Construir un modelo hidrológico de la zona de estudio donde se identifiquen las características fisiográficas de la microcuenca.
3. Diseñar un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para su aplicación en la microcuenca urbana de estudio.
4. Establecer una propuesta que combine aspectos tradicionales y sostenibles.

Capítulo 2: Revisión Bibliográfica



"Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora."

2.1 SISTEMA DE DRENAJE CONVENCIONAL

- ❑ Desalojo del flujo
- ❑ Mínima molestia
- ❑ Sistemas combinados

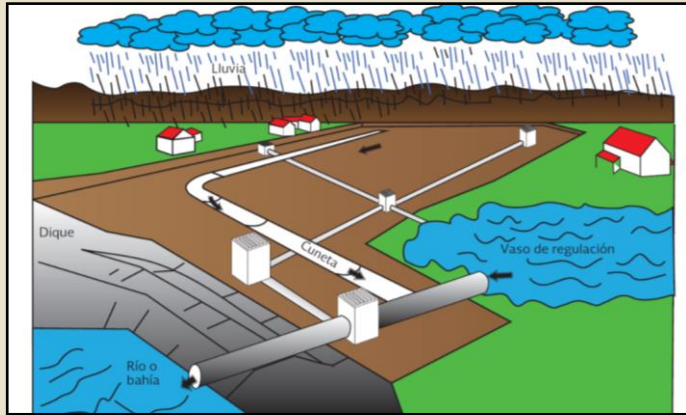


Figura 8.- Sistema de drenaje pluvial.

Fuente: Adaptado de Chow et al., 1994.

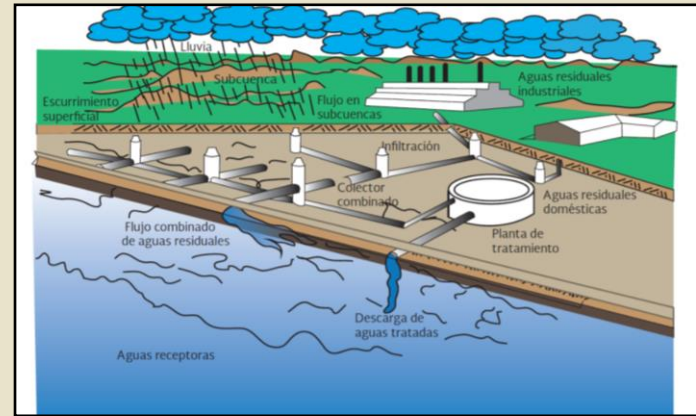


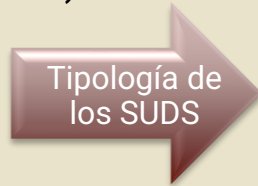
Figura 9.- Sistema de drenaje combinado.

Fuente: Adaptado de Kibler, 1982.

2.2 SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Son aquellos elementos participantes en el drenaje de las ciudades que, además de reducir el caudal producido por la lluvia, disminuyen los contaminantes arrastrados por la escorrentía.

- ❑ **BMP's (Best Management Practices).**



- ❑ **Perspectiva diferente a la convencional**



- ❑ **Control y almacenamiento de escorrentías**

- ❑ **Impacto Hidrológico Cero**

- ❑ **Control en el Origen**

Capítulo 3: Metodología



“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

3.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO



Figura 10.- Procesos de análisis hidrológico.

Fuente: Propia.

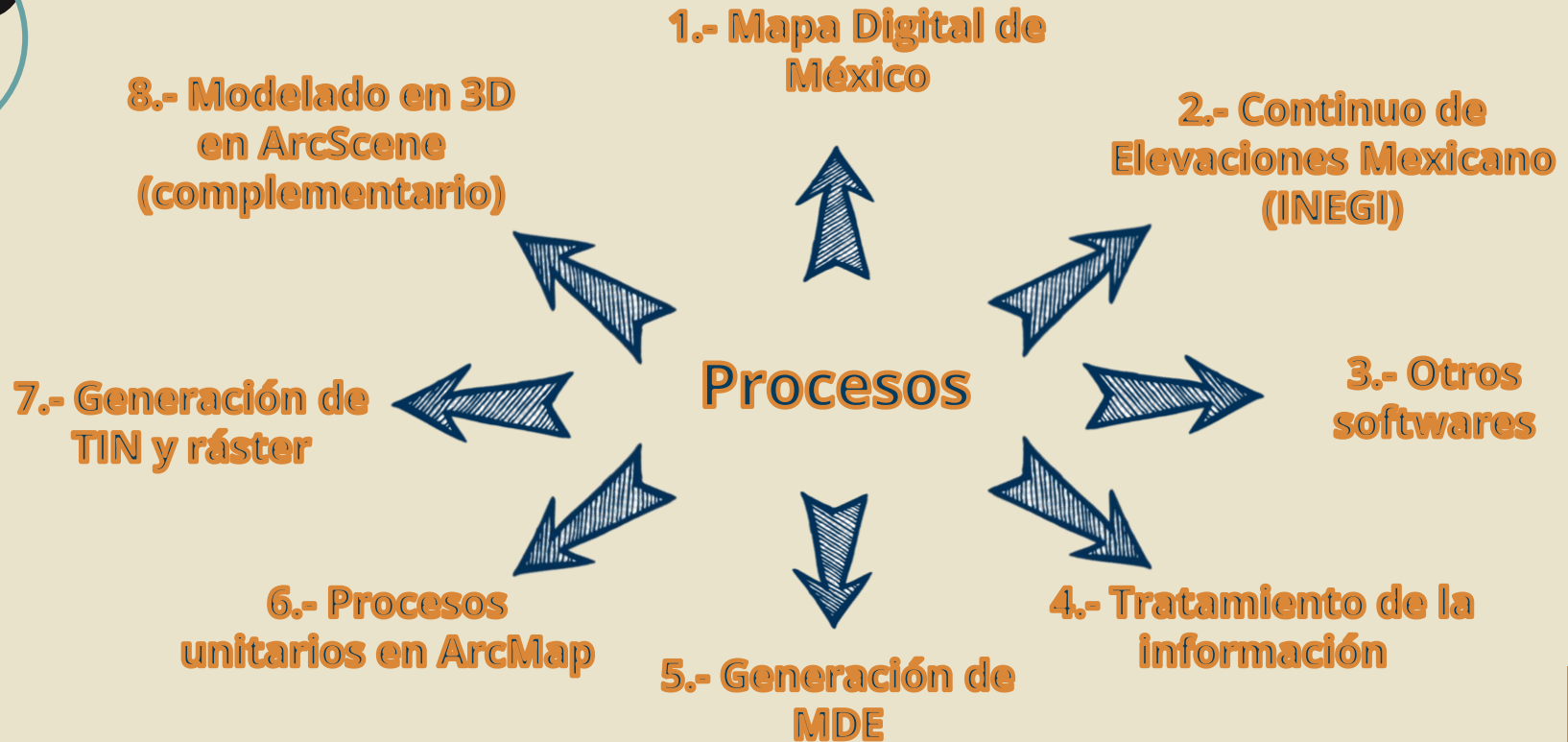


Figura 11.- Ubicación geográfica estación climatológica 26040.

Fuente: Información Estadística Nacional (Servicio Meteorológico Nacional, 2020).



3.2 ANÁLISIS GEOGRÁFICO APLICANDO SIG



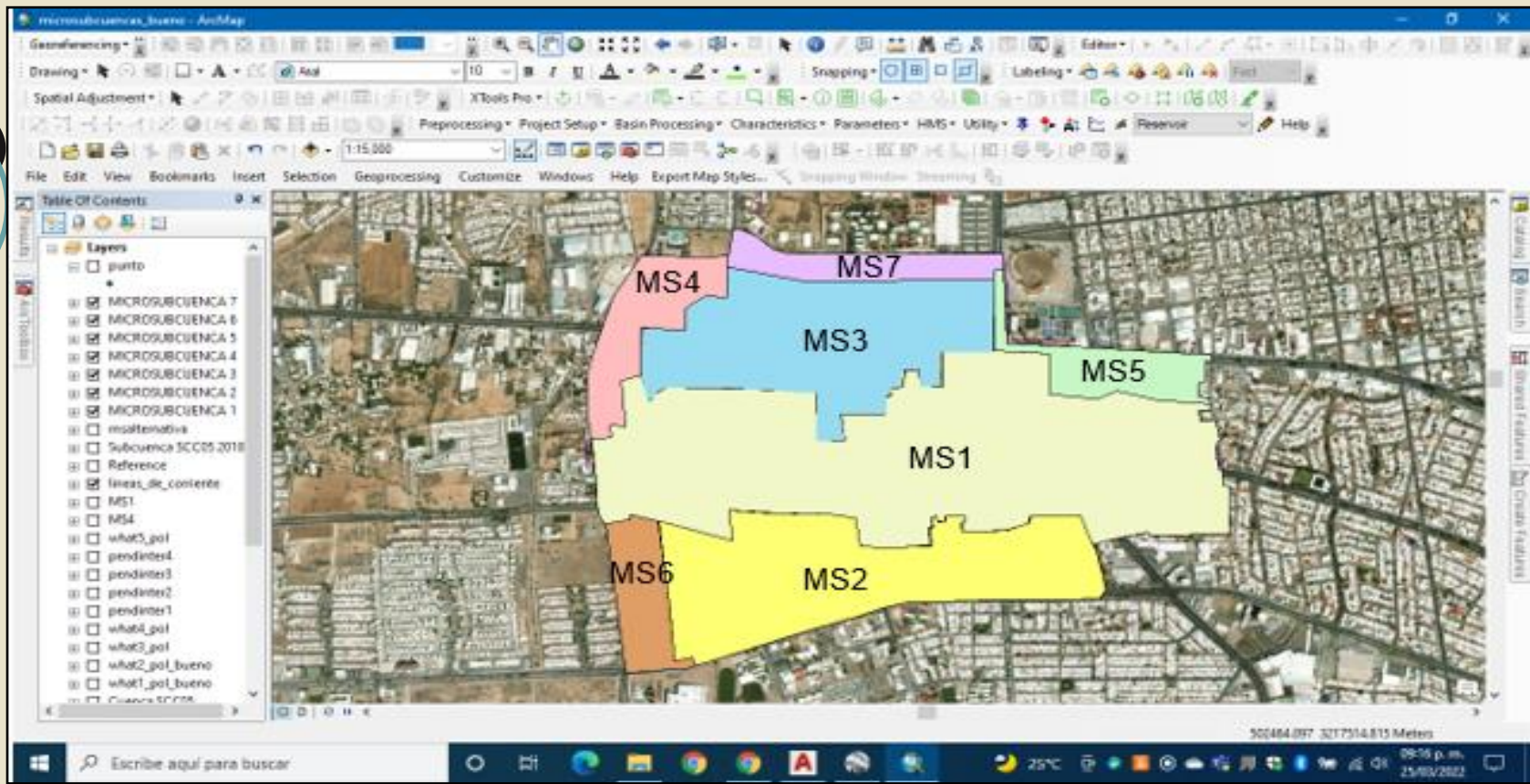


Figura 12.- Microsubcuencas de estudio (ARCGIS)

Fuente: Propia.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuena urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

3.3 ANÁLISIS FISIOGRÁFICO

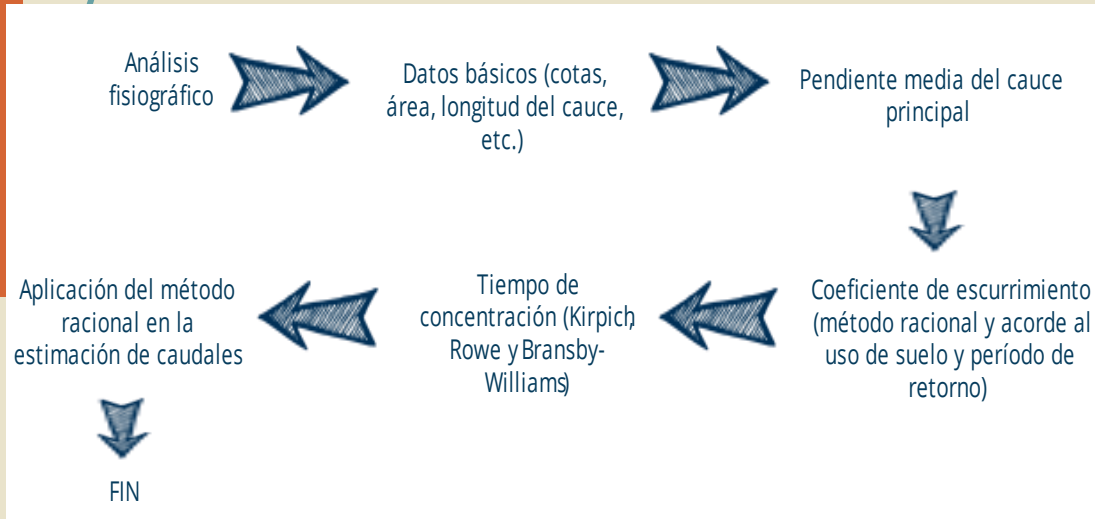


Figura 13.- Procesos de análisis fisiográfico.

Fuente: Propia.

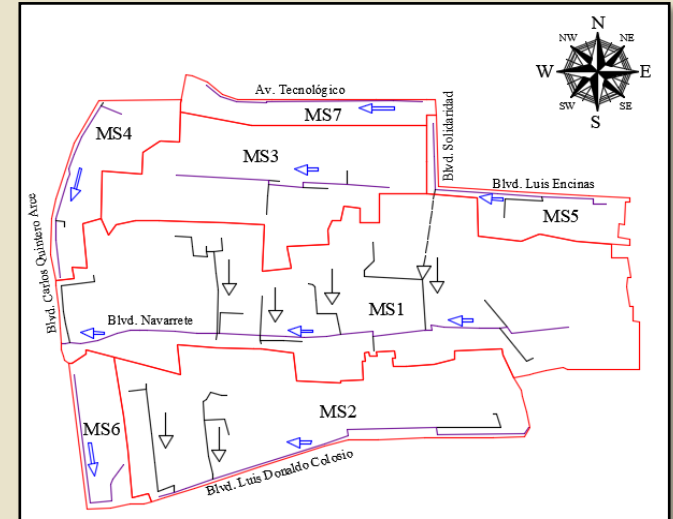


Figura 14.- Microsubcuencas de estudio (AUTOCAD)

Fuente: Propia.

3.4 DISEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN

ALTERNATIVA 1: Diseño de un canal rectangular embovedado que colecte el 100% del gasto de diseño aplicando la metodología tradicional.

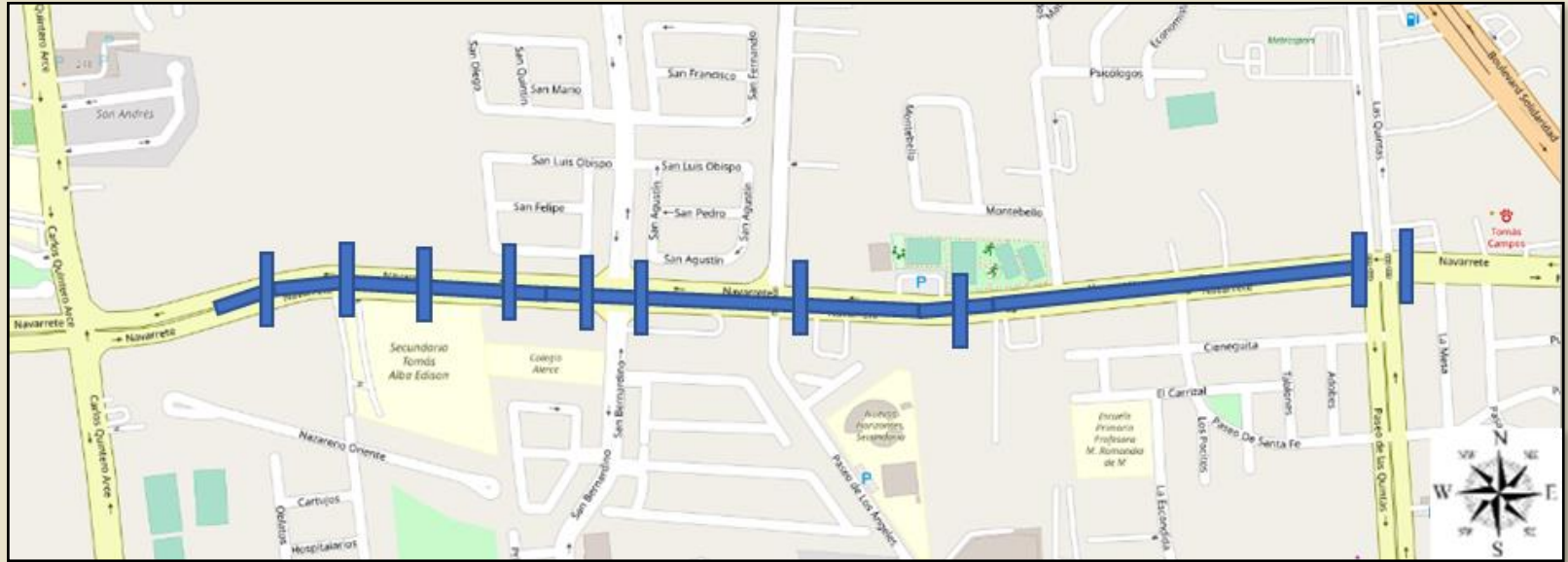


Figura 15.- Ruta de canal embovedado, alternativa 1.

Fuente: Propia.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

ALTERNATIVA 2: Diseño de un canal rectangular embovedado que colecte el 70% del gasto de diseño aplicando la metodología tradicional y SUDS que colecten el 30% restante.



Figura 16.- Ruta de canal embovedado y ubicación de los SUDS, alternativa 2.

Fuente: Propia.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subsecuencia urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

HIDROGRAMA: Volumen a controlar con la aplicación de las estrategias de solución:

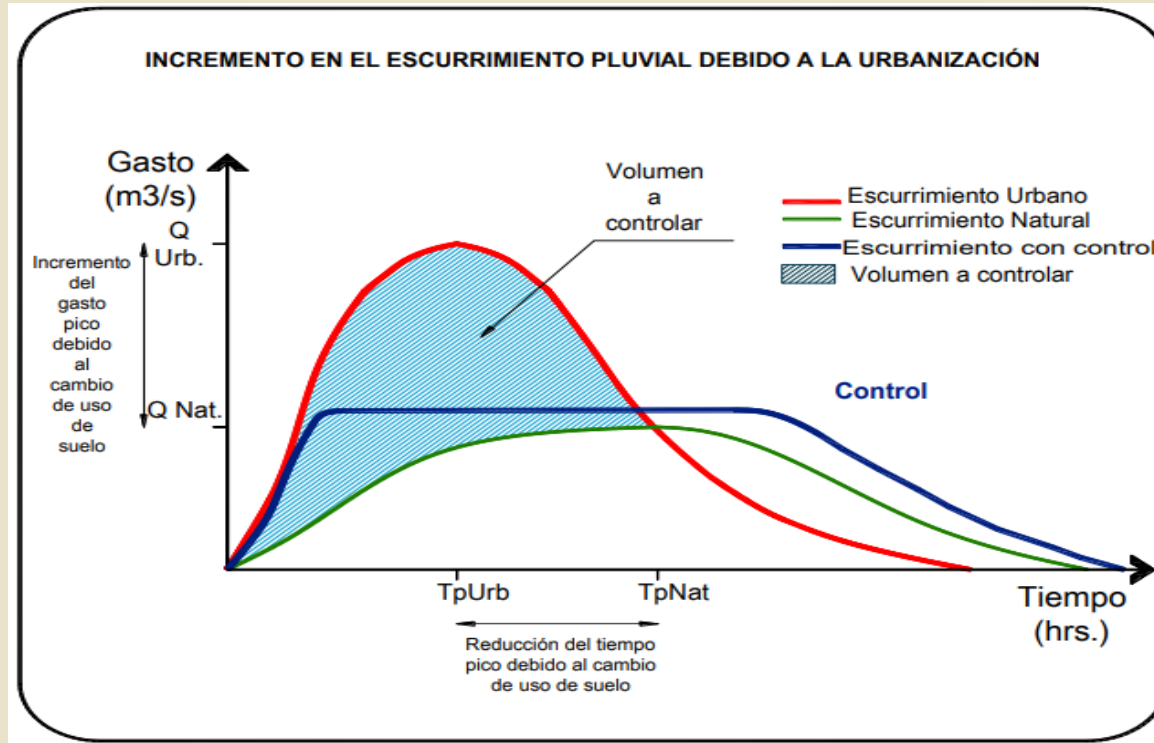


Figura 17.- Hidrogramas a presentarse en la cuenca de estudio.

Fuente: Tomada de ADS StormTech, 2022.

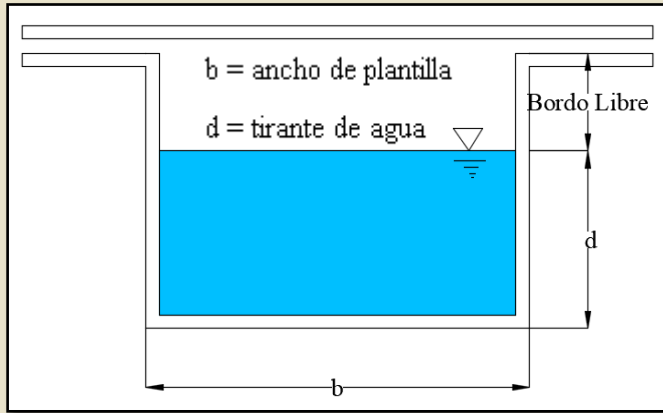


Figura 18.- Sección típica de un canal rectangular.

Fuente: Propia.

$$Q = A_H \times \left(\frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2} \right) \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{1}{n} \times A_H \times \left(\frac{A_H}{P_M} \right)^{2/3} \times S^{1/2} \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{1}{n} \times A_H \times \left(\frac{A_H^{2/3}}{P_M^{2/3}} \right) \times S^{1/2} \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{A_H^{5/3} \times S^{1/2}}{n \times P_M^{2/3}}$$

Revisión del tipo de flujo del agua en el canal:

a) Velocidad

La norma establece que:

Velocidad mínima = 1 m/s - 2.5 m/s

Velocidad máxima = 10 m/s

b) Tipo de flujo

F < 1 flujo subcrítico

F > 1 flujo supercrítico

F = 1 flujo crítico

La Ecuación de Froude es:

$$F = \frac{V_{\text{flujo}}}{\sqrt{\text{gravedad} \times \text{tirante de agua}}}$$

Capítulo 4: Resultados y discusión



PREC MÁX ANUAL

Año	Valor
1982	67.60
1983	41.70
1984	63.10
1985	76.30
1986	106.70

4.I RESULTADOS

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

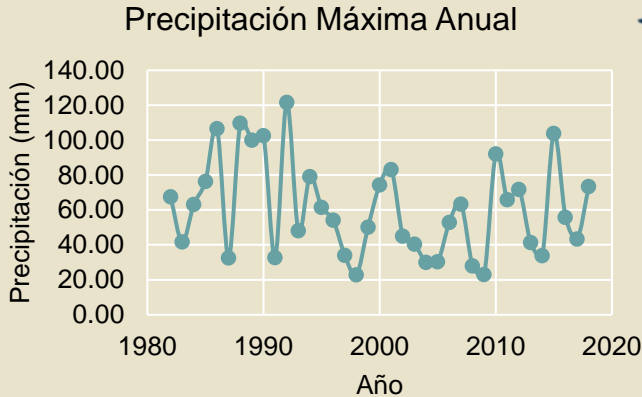


Figura 19.- Distribución de la precipitación máxima anual.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA-SMN, 2021.

m	Precipitación Máx (mm)	Tr = ((n+1)/m)	Log Tr	P(Log Tr)	(Log Tr)^2	(Precipitación Máx (mm))^2
1	121.70	38.00	1.5798	192.26	2.4957	14810.89
2	109.80	19.00	1.2788	140.41	1.6352	12056.04
3	106.70	12.67	1.1027	117.65	1.2159	11384.89
● ● ● ● ● ● ● ●						
36	23.00	1.06	0.0235	0.54	0.0006	529.00
37	22.80	1.03	0.0116	0.26	0.0001	519.84
SUMAS:	2256.80	159.66	15.31	1293.12	11.45	164578.34

Tabla 1 y 2.- Ejemplo de aplicación del método.

Fuente: Propia.

Tipo de estructura	T (años)
Alcantarillas en caminos secundarios, drenaje de lluvia o contracunetas	De 5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamientos causados por lluvias de corta duración	De 1 a 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	De 2 a 10

Tabla 3.- Períodos de retorno de diseño.

Fuente: Elaboración propia con información de la Comisión Nacional del Agua, 2007.

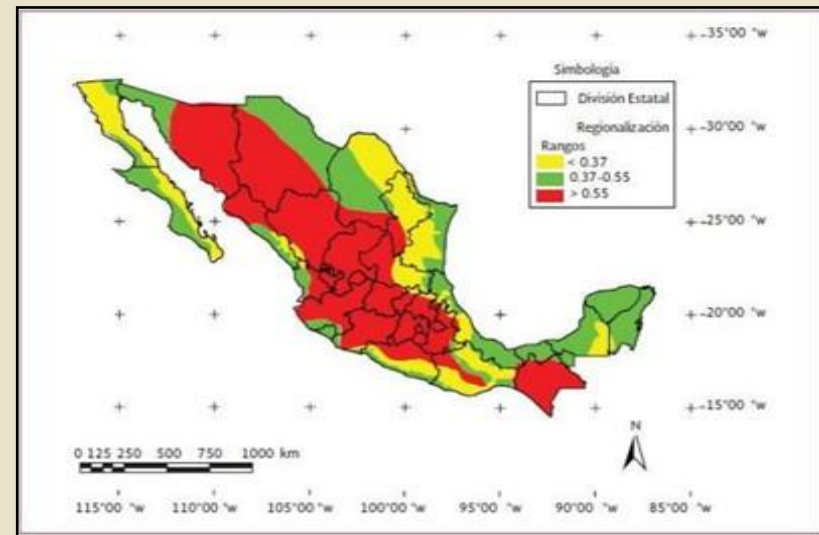


Figura 20.- Valores del coeficiente K.

Fuente: Baeza Ramírez, 2007.

De acuerdo al Estado:	Factor de corrección por convección	0.55
Sonora: Est 26040	P^{24}_2 (mm):	63.17
Hermosillo Obs	P^{60}_2 (mm):	34.74

Tabla 4.- Precipitación aplicando el factor de corrección por convección.

Fuente: Propia.

Modelo de la ecuación generalizada de (Bell, 1969) para obtener la precipitación en períodos señalados.

$$P_{Tr}^t = (0.35 \ln Tr + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_2^{60}$$

Tr	Precipitación (mm)							
	Duración (minutos)							
	5	10	20	40	60	100	120	1440
2	10.71	16.03	22.36	29.89	34.93	42.06	44.84	98.45
5	14.14	21.16	29.51	39.45	46.11	55.52	59.18	129.94
10	16.73	25.04	34.92	46.68	54.56	65.70	70.03	153.77
20	19.32	28.92	40.33	53.91	63.01	75.88	80.88	177.59
25	20.15	30.17	42.08	56.24	65.73	79.15	84.37	185.26
50	22.75	34.05	47.49	63.47	74.19	89.33	95.22	209.08
100	25.34	37.93	52.90	70.70	82.64	99.51	106.07	232.90

Tabla 5.- Tabla de precipitación para diferentes períodos de retorno y duraciones.

Fuente: Propia.



Tr	Intensidad (mm/h)							
	Duración (minutos)							
	5	10	20	40	60	100	120	1440
2	128.53	96.19	67.08	44.83	34.93	25.24	22.42	4.10
5	169.64	126.96	88.54	59.17	46.11	33.31	29.59	5.41
10	200.74	150.24	104.77	70.03	54.56	39.42	35.02	6.41
20	231.84	173.52	121.00	80.87	63.01	45.53	40.44	7.40
25	241.85	181.01	126.23	84.36	65.73	47.49	42.19	7.72
50	272.95	204.28	142.46	95.21	74.19	53.60	47.61	8.71
100	304.05	227.56	158.69	106.05	82.64	59.71	53.04	9.70

Tabla 6.- Tabla de intensidades para diferentes períodos de retorno y duraciones.

Fuente: Propia.

CURVAS PDTR

Son presentados los gráficos de probabilidades que representan a las precipitaciones anuales y el porcentaje de casos que superan cada valor o el intervalo de ocurrencia en cada caso.

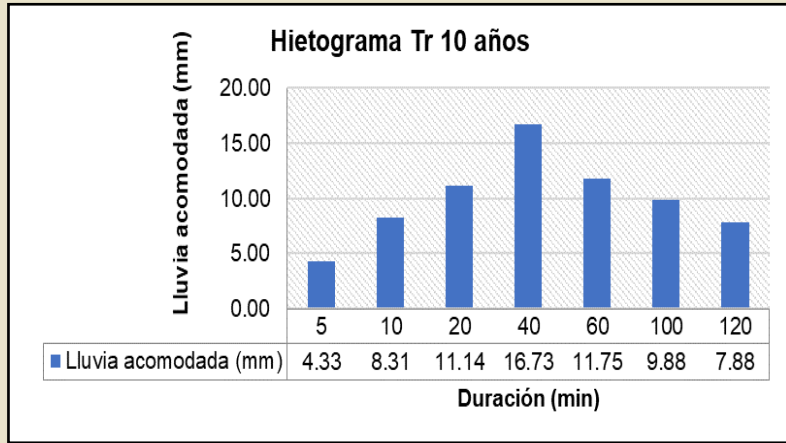


Figura 21.- Hietograma de diseño (método de los bloques alternos)

Fuente: Propia.

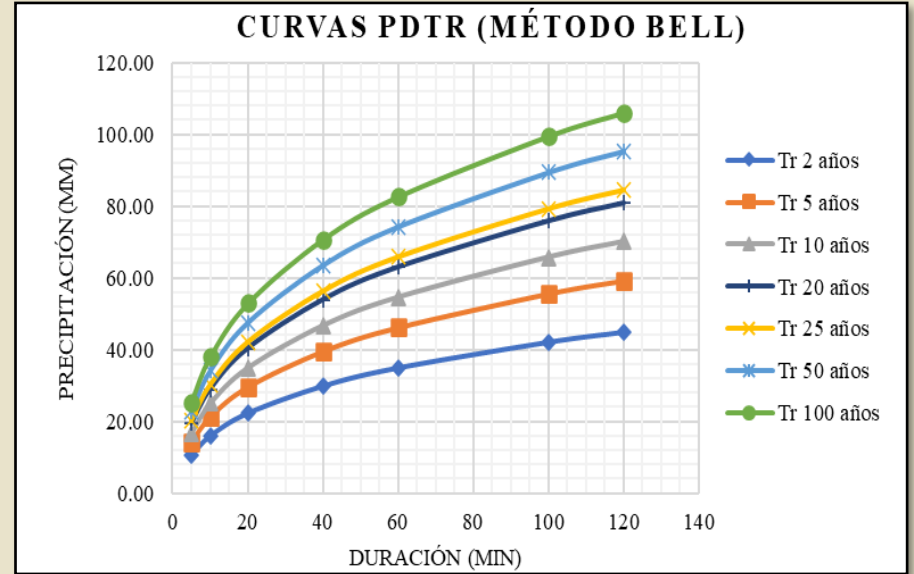


Figura 22.- Curvas PDTr (Método Bell)

Fuente: Propia.

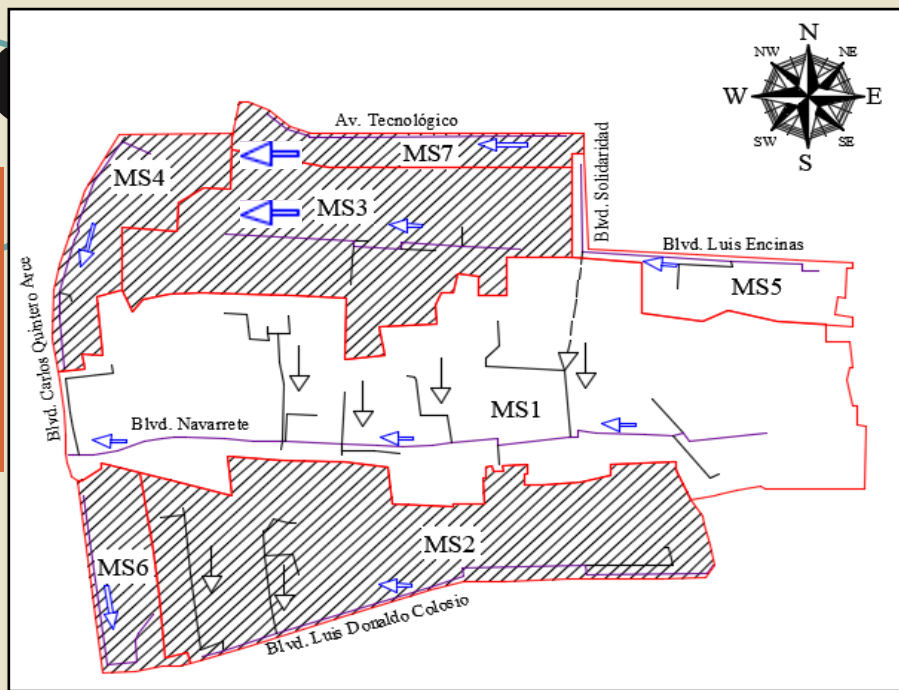


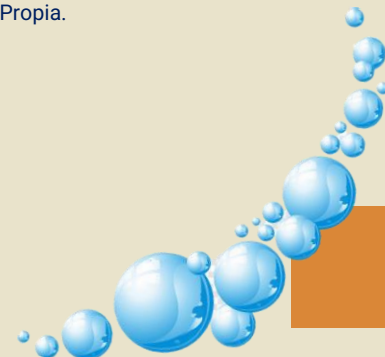
Figura 23.- Microsubcuencas, líneas de corriente y cauce principal.

Fuente: Elaboración propia con ArcGIS, 2021.

Micro subcuenca	Área (m ²)	Lc (m)	Sc (Método de las elevaciones)
MS1	1'193592.04	2,020.91	0.0025
MS5	124,098.66	946.60	0.0021

Tabla 7.- Datos básicos de las microsubcuencas.

Fuente: Propia.



COEFICIENTE C DE ESCURRIMIENTO

MÉTODO 1: MÉTODO RACIONAL

Microsubcuenca MS1			
			1,193,592.04
Uso	Área (m2)	C	Área*C (m2)
Parques y cementerios	237,640.46	0.18	41,587.08
Comercial (Zonas periféricas)	95,510.83	0.60	57,306.50
Industrial (Áreas esparcidas)	59,629.69	0.65	38,759.30
Residencial (Áreas de casas familiares)	370,120.99	0.40	148,048.39
Calles o pavimentos (Asfalto)	359,753.41	0.83	296,796.57
Calzadas y caminos	70,936.66	0.78	54,975.91
Suma =			637,473.75
Coeficiente C =			0.5341

Tabla 8.- Cálculo del coeficiente de escurrimiento (método 1).

Fuente: Propia.

MÉTODO 2: USO DE SUELO Y PERÍODO DE RETORNO

Microsubcuenca MS1			
			1,193,592.04
Uso	Área (m2)	C	Área*C (m2)
Arenas con pasto (parques, jardines, etc.), Condición pobre (el pasto cubre menos del 50% del área), pendiente promedio (2% al 7%)	308,577.12	0.43	132,688.16
Concreto y/o azoteas	525,261.51	0.83	433,340.74
Superficie asfáltica	359,753.41	0.81	291,400.27
Suma =			857,429.17
Coeficiente C =			0.7184

Tabla 9.- Cálculo del coeficiente de escurrimiento (método 2).

Fuente: Propia.



DURACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

MÉTODOS UTILIZADOS: KIRPICH, ROWE Y BRANSBY-WILLIAMS

Micro subcuena	Método 1	Método 2	Método 3	Tc promedio (min)
MS1	68.90	68.97	96.28	78.05
MS3	40.83	40.87	58.37	46.69

Tabla 10.- Concentrado de cálculo de los tiempos de concentración.

Fuente: Propia.

* La duración es equivalente al tiempo de concentración (Tc).

MÉTODO RACIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Micro subcuena	Tc promedio (min)	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/hr)	Área (km ²)	Coefficiente de escurrimiento (C)	Tr de 10 años Gasto (m ³ /s)	Tr de 25 años Gasto (m ³ /s)
MS1	78.05	59.59	47.73	1.1936	0.6262	9.91	11.94
MS5	46.69	49.32	64.85	0.1241	0.7788	1.74	2.10

Tabla 11.- Gastos de microsubcuenas para un Tr de 10 y 25 años.

Fuente: Propia.



Figura 24.- Blvd. Juan Navarrete esquina con Calzada San Bernardino

Fuente: Propia.



Figura 25.- Blvd. Juan Navarrete casi frente a Colegio TAES.

Fuente: Propia.



Figura 26.- Blvd. Juan Navarrete casi frente a Colegio TAES.

Fuente: Propia.

4.2 ALTERNATIVA I

Gasto de diseño = Gasto MS1 + 0.50 Gasto MS5

Gasto de diseño = $9.91 \text{ m}^3/\text{s} + 0.50 (1.74 \text{ m}^3/\text{s})$

Gasto de diseño = $10.78 \text{ m}^3/\text{s}$

Considerando que:

$$A_H = 2d^2$$

$$P_M = 4d = b + 2d$$

$$S = 0.0025$$

$$n = 0.014$$

Resolviendo se tiene un tirante y velocidad igual a:

$$d = 1.38767 \text{ m} = 1.40 \text{ m}$$

$$V = 2.82 \text{ m/s}$$

La geometría del diseño es la siguiente:

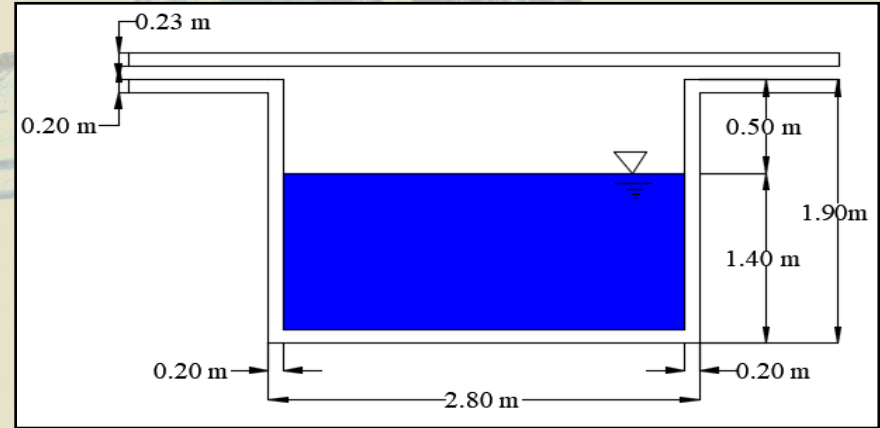


Figura 27.- Sección de canal alternativa 1.

Fuente: Propia.

Para la geometría propuesta, se tiene un flujo subcrítico igual a:

$$F = \frac{2.82 \text{ m/s}}{\sqrt{9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.40 \text{ m}}} = 0.76$$

4.3 ALTERNATIVA 2

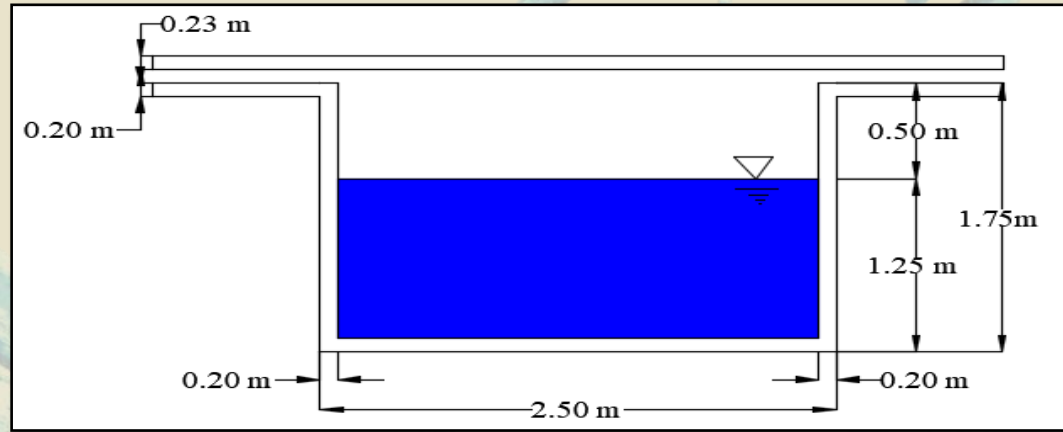


Figura 28.- Sección de canal alternativa 2.

Fuente: Propia.

Partiendo de un gasto de 10.78 m³/s, se tiene el 70% igual a 7.55 m³/s y se tiene un tirante y una velocidad igual a:

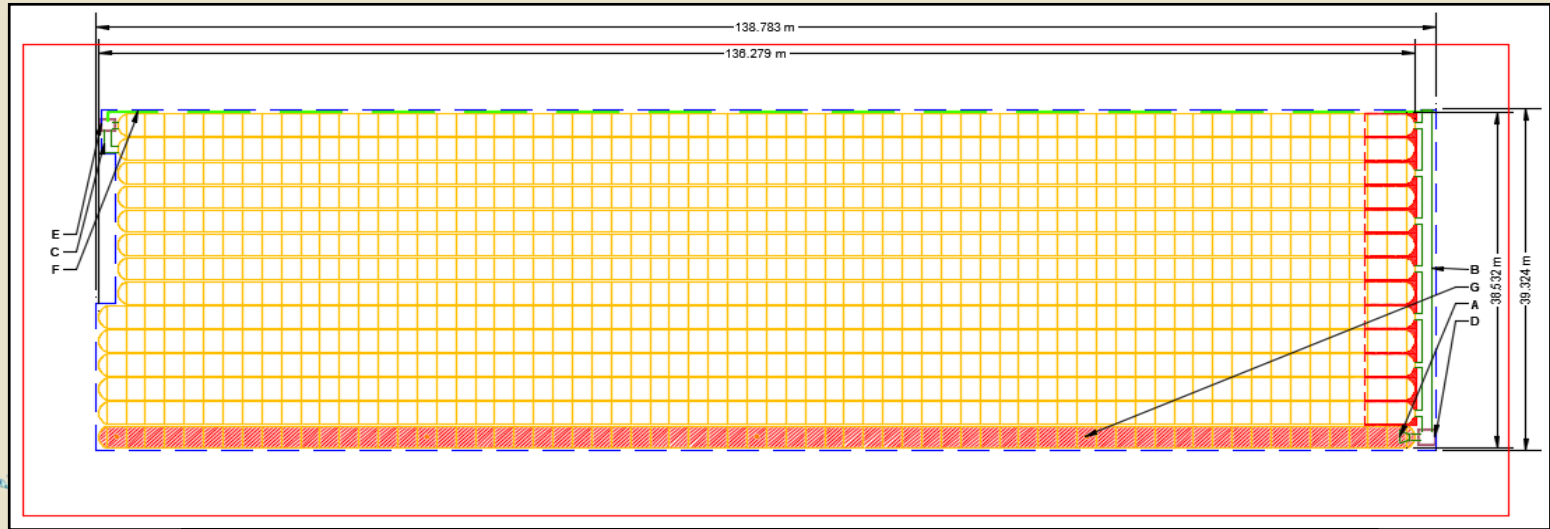
$$d = 1.21418 \text{ m} = 1.25 \text{ m}$$

$$V = 2.61 \text{ m/s}$$

Flujo subcrítico igual a:

$$F = \frac{2.61 \text{ m/s}}{\sqrt{9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.25 \text{ m}}} = 0.75$$

Diseño del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible



PART TYPE	ITEM ON LAYOUT	DESCRIPTION	INVERT	MAX FLOW
FLAMP	A	INSTALL FLAMP ON 600 mm ACCESS PIPE / PART#: MC720024RAMP		
MANIFOLD	B	900 mm x 600 mm ADS N-12 (900 mm PIPE)	283 mm	
MANIFOLD	C	900 mm x 600 mm ADS N-12 (600 mm PIPE)	585 mm	
MANIFOLD	C	600 mm x 600 mm BOTTOM MANIFOLD, ADS N-12	57 mm	
CONCRETE STRUCTURE	D	(DESIGN BY ENGINEER / PROVIDED BY OTHERS)		1883 L/s IN
CONCRETE STRUCTURE	E	OCS (DESIGN BY ENGINEER / PROVIDED BY OTHERS)		396 L/s OUT
UNDERDRAIN	F	150 mm ADS N-12 DUAL WALL PERFORATED HDPE UNDERDRAIN		
INSPECTION PORT	G	100 mm SEE DETAIL (TYP 4 PLACES)		

*INVERT ABOVE BASE OF CHAMBER

Figura 29.- Diseño de SUDS del tipo detención/ infiltración.

Fuente: Elaboración propia con información de ADS StormTech, 2022.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”



Figura 30.- Instalación de sistema en Toluca, Estado de México.

Fuente: ADS StormTech Youtube, 2022.



Figura 31.- Instalación de sistema en Vesta Industrial Park, Guanajuato.

Fuente: ADS StormTech Youtube, 2022.



Figura 32.- Instalación del sistema.

Fuente: ADS StormTech Youtube, 2022.



Figura 33.- Instalación del sistema con cámara MC-4500.

Fuente: ADS StormTech Youtube, 2022.

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones






5.1 CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de la investigación, la información altimétrica para realizar el análisis geográfico se podría realizar con equipos especializados para dar mayor veracidad, debido a que este análisis se basó en información obtenida del INEGI y software como Google Earth y Global Mapper. Se propuso que el agua captada en los SUDS sea vertida paulatinamente al sistema de drenaje existente y/o reutilizarla para fines recreativos.

Además, debido a que la zona de estudio no cuenta con espacio suficiente considerable para implantar los sistemas se optó por considerar el gasto del 30% para almacenar en el SUDS, si se tuviera más espacio se pudiera doblar ese almacenamiento.





El período de retorno de 10 años para el diseño de los sistemas resulta insuficiente, brindando la oportunidad de prever y amortiguar estas contingencias pluviales, sugiriendo así elegir periodos de retorno de 20 o 25 años en el diseño, y en su caso, combinar la solución de la captación del agua pluvial a través de un colector pluvial, agregando uno o varios módulos de drenaje sostenible (SUDS) que generen una disminución del caudal máximo, de manera que el gasto de pico disminuya y se genere una captación más eficiente del agua a través de las bocas de tormenta, mientras que un porcentaje del caudal máximo se direcciona hacia los módulos del SUDS.

Asimismo, es pertinente expresar que una variable importante y de peso en el cálculo del caudal (Q) es el coeficiente de escurrimiento, el cual para la subcuenca MS1 resultó relativamente bajo ($C=0.63$) dado que la mayor parte del área que drena el agua en esta subcuenca aparecen terrenos baldíos en donde no hay construcción de edificaciones, por lo que, cuando se llegue el momento de que se construyan obras civiles de edificaciones en esos terrenos, se tendrá en consecuencia mayor área impermeable, entonces el coeficiente de escurrimiento “ C ” se puede incrementar y al mismo tiempo el caudal “ Q ” se elevará de manera sustancial. Por tal motivo, la sugerencia de prever mayores períodos de retorno.

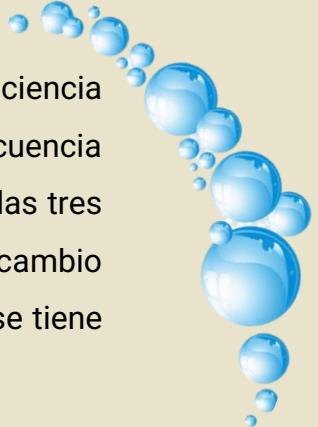

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio de mecánica de suelos relacionado con la capacidad de absorción y/o infiltración en la zona donde se implantarán estos sistemas, ya que por su naturaleza estos pueden funcionar como dispositivos de infiltración al subsuelo. y recargar los acuíferos, lo que tendría resultados positivos para la población a lo largo del tiempo.

Es recomendable de igual manera, que en la normativa existente se considerara utilizar una combinación de estrategias de solución que hagan uso de las mejores prácticas de manejo y control en el origen.

También es recomendable definir los elementos que componen estas alternativas, de forma que se pueda elaborar un presupuesto y programa de trabajo y así conocer el alcance económico de cada uno de ellos para poder tomar la mejor decisión y adoptar la opción más viable y factible.





Se considera apropiado que este tipo de investigaciones sirvan para generar conciencia respecto de esta problemática que padecemos como sociedad, cada vez con mayor frecuencia e intensidad; y que llegue esta información a las personas tomadoras de decisiones en los tres niveles de gobierno, debido a que con ellos es con quienes se tiene que empezar el cambio orientado hacia un aprovechamiento racional de los recursos hídricos y sobre todo, si se tiene la posibilidad, el uso de las aguas provenientes de las escorrentías pluviales.

De igual manera, es justo agregar que la geometría de la primera alternativa de solución estará sujeta a cambios, toda vez que se modificaran los períodos de retorno de diseño, teniendo en cuenta que el período de retorno de diseño que se utilizó para la primera propuesta de solución es de 10 años, se agregan a continuación las geometrías que se pudieran presentar para los períodos de retorno de 25 y 50 años respectivamente y de igual manera se agregan las curvas $idTr$ y $pdTr$ respectivas para cada caso en las láminas siguientes.



Para un Tr de 25 años

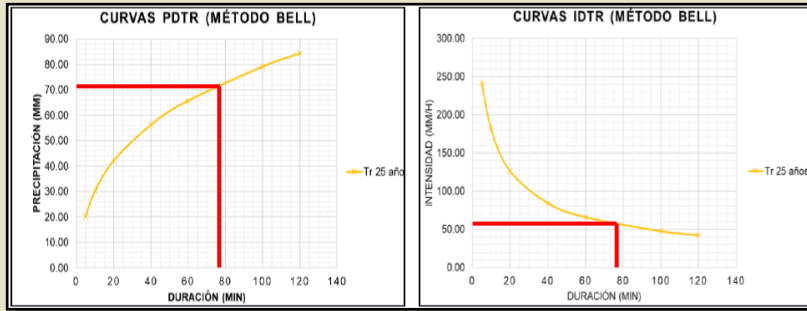


Figura 34.- Curvas PDTR e IDTr para la estación 26040 y un Tr de 25 años.

Fuente: Propia.

Para un Tr de 50 años

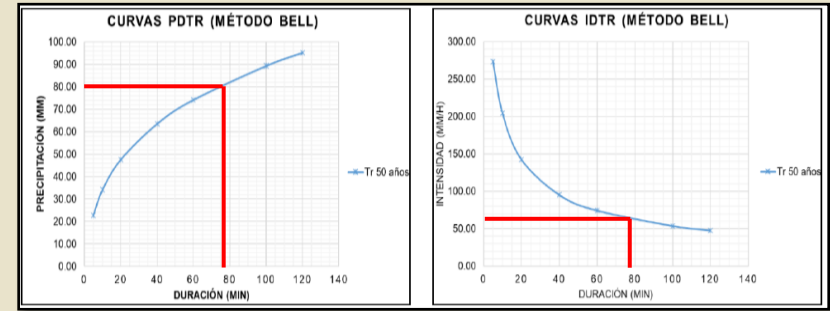


Figura 35.- Curvas PDTR e IDTr para la estación 26040 y un Tr de 50 años.

Fuente: Propia.

Para un Tr de 10 años

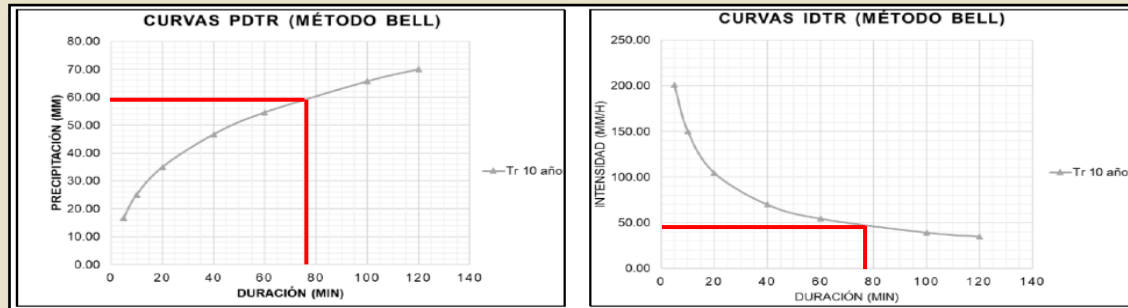


Figura 36.- Curvas PDTR e IDTr para la estación 26040 y un Tr de 10 años.

Fuente: Propia.

Para un Tr de 10 años

$$Q = 9.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad} = 2.82 \text{ m/s}$$

Tipo de flujo = 0.76 (subcrítico)

$$\text{Precipitación} = 59.59 \text{ mm}$$

$$\text{Intensidad} = 47.73 \text{ mm/hr}$$

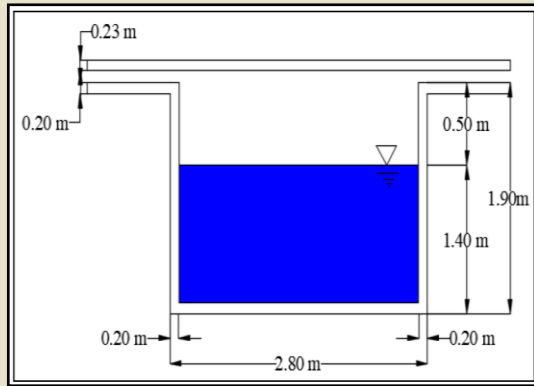


Figura 37.- Geometría de Alternativa 1 para un Tr de 10 años.

Fuente: Propia.

Para un Tr de 25 años

$$Q = 11.94 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad} = 2.95 \text{ m/s}$$

Tipo de flujo = 0.77 (subcrítico)

$$\text{Precipitación} = 71.79 \text{ mm}$$

$$\text{Intensidad} = 57.50 \text{ mm/hr}$$

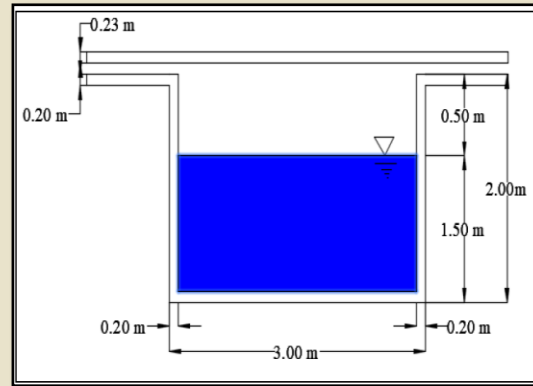


Figura 38.- Geometría de Alternativa 1 para un Tr de 25 años.

Fuente: Propia.

Para un Tr de 50 años

$$Q = 13.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad} = 3.08 \text{ m/s}$$

Tipo de flujo = 0.78 (subcrítico)

$$\text{Precipitación} = 81.02 \text{ mm}$$

$$\text{Intensidad} = 64.90 \text{ mm/hr}$$

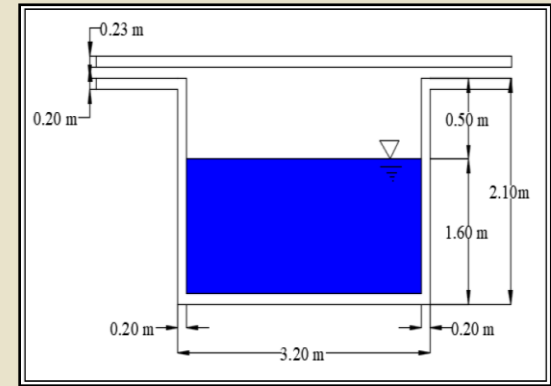


Figura 39.- Geometría de Alternativa 1 para un Tr de 50 años.

Fuente: Propia.

Sección de canal existente sobre Blvd. Navarrete casi esquina con Blvd. Quintero Arce

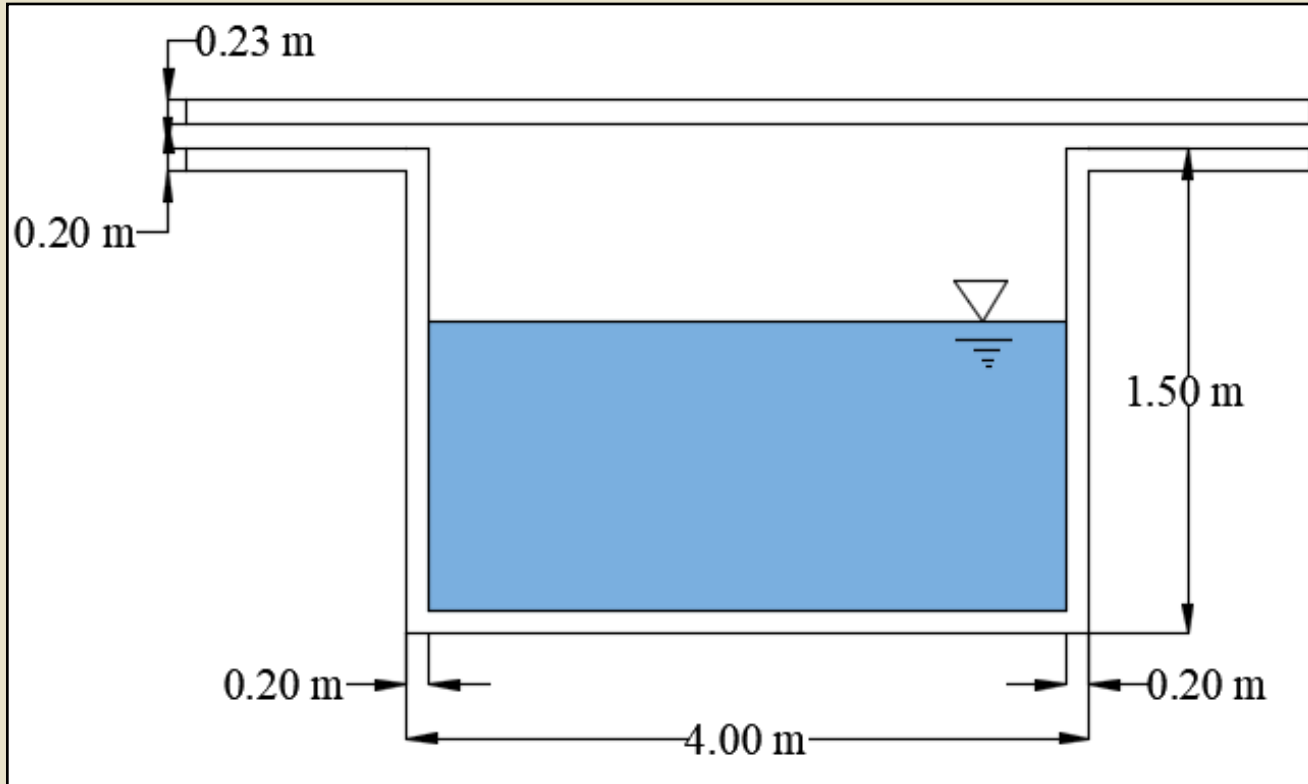


Figura 40.- Sección de canal existente

Fuente: Propia.



Figura 41.- Canal existente

Fuente: Propia.



Figura 42.- Canal existente

Fuente: Propia.



Figura 42.- Canal existente

Fuente: Propia.

6.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ares, M. G., Varni, M., Chagas, C., & Entraigas, I. (2012). Calibración del número N de la curva de escurrimiento en una cuenca agropecuaria de 116 km² de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Agrociencia 46*: , 535-541.

ARQUIOAX, V. S. (31 de Diciembre de 2011). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán. *Prevención de riesgos en los asentamientos humanos*. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México: ARQUIOAX S. A. DE C. V.

Baró, J. E., Díaz Delgado, C., Calderón, G., & Esteller, M. V. (2007). Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte I: Propuesta Metodológica. *Ingeniería Hidráulica de México*, Vol. XXII, Núm. 1, 91-102.

Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall duration frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 311-327.

Benjamin, M. A. (2008). Investigating physical and social dimensions. *MSc thesis*. Cape Town, South Africa: University of Cape Town.

Blanco, P. D. (2016). *Tutorial Modelamiento Hidrológico Geoespacial usando HEC-GeoHMS: Aplicación a la cuenca del Río Chilca*. Huancayo, Perú: Autoridad Nacional del Agua.

"Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora."

- Blog del Agua. (2021). *Blog del Agua*. Obtenido de <https://blogdelagua.com/actualidad/normativa-actual-en-materia-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>
- Boletín Oficial. (2018). *Dictamen relativo a la aprobación de Norma Técnica que establece las características y requerimientos para la infraestructura verde en el municipio de Hermosillo*. 2018CCII26II Hermosillo, Sonora: Gobierno del Estado de Sonora.
- Bremer, M. H., & Lara, C. A. (2001). Proyecto de Atlas de Riesgo de Inundación en la Ciudad de Monterrey. *Reporte. México, D. F.: ITESM Campus Monterrey*, 6.
- Brieva, C. (2018). *Caracterización de cuencas: Proyecto Específico 1133022 "Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas"*. Mendoza, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agroindustria.
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: 3era Edición, Editorial Universitaria Potosina.
- Campos, D. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis Potosí: 2da Edición: Printego.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Traducido en Santa Fé de Bogotá, Colombia.: Mc Graw Hill.
- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Drenaje Pluvial Urbano*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
- CONAGUA. (2016). *Ley de Aguas Nacionales*. Ciudad de México: Cámara de Diputado del H. Congreso de la Unión.
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Drenaje Pluvial Urbano*. Ciudad de México.: Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

CONAMA. (2018). *Agua y ciudad. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Madrid, España: Fundación CONAMA.

Corregidor Sanz, D., & Fernández Guillén, P. (2004). Energía y Desarrollo Sostenible. *Física y Sociedad*, 16-20.

Couchoud Gregori, M., & Cabrera Jiménez, J. A. (2010). Las Energías Renovables, una realidad. Fortalezas y Debilidades. *Tecno ambiente: Revista profesional de tecnología y equipamiento de ingeniería ambiental*, ISSN 1133-4665, Año nº 20, Nº 204, 9-13.

Del Ángel González, M., & Domínguez Mora, R. (2013). Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración. *GEOS, Vol. 33, No. 2*, 332-349.

Douben, N. (2006). Characteristics of river floods and flooding: A global overview. 1985-2003. *Irrigation and Drainage*, 55 (S1), S9-S21.

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., . . . Valladares, F. (2006). *Cambio global: Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra, La Maquinaria de la Biósfera en el Antropoceno*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

ESRI. (17 de Agosto de 2021). *ArcGIS for Desktop*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>

Gonzales S., L. H., & Jaramillo J., D. F. (1991). Análisis fisiográfico para el estudio de las comunidades vegetales. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 23-40.

Guilberto, O. J., Varela, J. M., Yamanaka, V. H., Russi, A. V., & García, M. A. (2015). Sección 8, Cap. 3: Diseño de una red de drenaje pluvial urbano con apoyo de un modelo de simulación hidráulica: caso de estudio Cancún, Quintana Roo. En X. D. Galván, J. M. Rodríguez, & J. O. Medel, *Los servicios de agua y drenaje con una visión integral*. (págs. 748-757). Guanajuato: Universidad de Guanajuato.

IMPLAN. (1 de Septiembre de 2014). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo, Sonora*. Obtenido de Plano de uso, reservas y destinos de suelo: <https://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/E6.pdf>

“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”

- IMPLAN. (2018). *Programa de drenaje pluvial e infraestructura verde del centro de población de Hermosillo*. Hermosillo: Instituto Municipal de Planeación Urbana.
- IMPLAN Hermosillo. (2016). *Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo*. Hermosillo: Oficina Jurisdiccional de Hermosillo, Sonora.
- IMPLAN, I. M. (2014). *Atlas de Riesgos del Municipio de Hermosillo*. Hermosillo, Sonora: Unidad Municipal de Protección Civil.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal;. (2020). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26030a.html>
- Jaume, A. T., & Rodríguez, H. F. (2016). *Memoria del Proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. Alicante, España: Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales.
- Ley de Agua para el Estado de Jalisco y sus municipios. (2007). *Ley de Agua para el Estado de Jalisco y sus municipios*. Guadalajara, Jalisco: Congreso del Estado.
- Ley de Aguas del Estado de Sonora. (2006). *Ley de Aguas del Estado de Sonora*. Hermosillo, Sonora: Cámara de Diputados.
- Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León. (2017). *Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León*. Monterrey, Nuevo León: Congreso del Estado.
- Llano, D. C. (2017). *Modelo de Drenaje Pluvial Sustentable en la Universidad de Sonora, Campus Hermosillo*. Hermosillo, Sonora.: Universidad de Sonora.
- MINVU, M. d. (1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño*. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

"Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora."

Momparler, S. P., & Doménech, I. A. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1-15.

Negrete, L. R., Jaques, G. R., & Sepúlveda, A. B. (2005). Hidrología Urbana: una aproximación transdisciplinaria. Hacia la re-estructuración de las ciudades Hídricas. *Síntesis Tecnológica*, V.2 N° 1 37-45.

Niemczynowicz, J. (1999). Urban hidrology and water management - present and future challenges. *Urban Water*, 1-4.

Orona Llano, D. C. (2017). *Modelo de Drenaje Pluvial Sostenible en la Universidad de Sonora, campus Hermosillo*. Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.

Ortíz, V. J., Varela, J. M., & Guilberto, Ó. J. (2015). Modelación numérica de inundaciones. *H2O Gestión del agua: Retos y soluciones para el drenaje de la capital*, 18-24.

Palacios, C. M., & Ordoñez, O. A. (2016). Análisis del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG para la cuenca del río Quito. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.

Primera Comisión de Gobernación y Puntos Constitucionales. (2017). *Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Sonora*. Hermosillo, Sonora: Cámara de Diputados.

Programa de Manejo Integral de Agua Pluvial. (2017). *Antecedentes del PROMIAP y PIMI*. Guadalajara, Jalisco: Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado.

San Román, F. J. (Consultado en 2021). *Obtención del hietograma de diseño*. Salamanca, España: Departamento de Geología, Universidad de Salamanca.

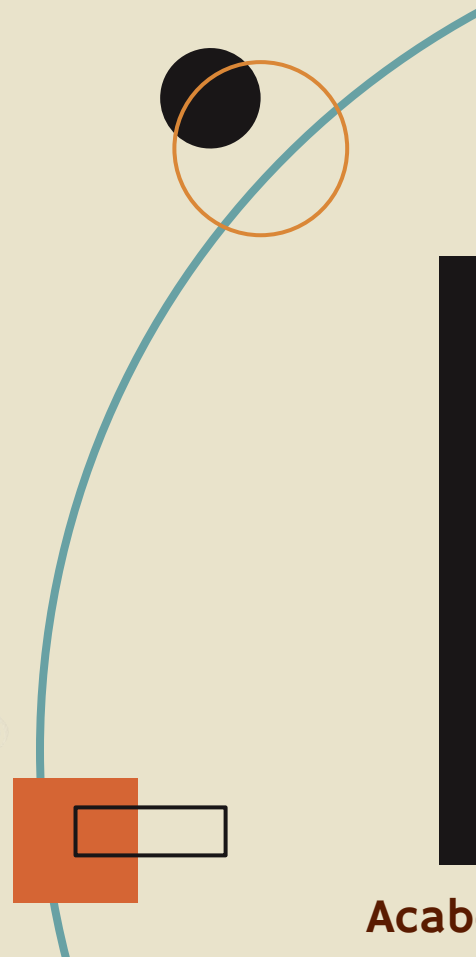
"Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora."

- Sánchez, L. A., & Strippoli, V. (2009). Modelo hidrológico - hidráulico para evaluar un sistema de drenaje urbano en zonas planas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol XXX, No. 3, pp. 3-10.
- Servicio Meteorológico Nacional. (27 de Abril de 2017). *SMN*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>
- Servicio Meteorológico Nacional. (6 de Abril de 2020). *Gobierno de México*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: smn.conagua.gob.mx/tools/resources/diarios/26040.txt
- SIAPA, S. I. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades, Hidrología Superficial Urbana*. Guadalajara, Jalisco: SIAPA.
- Toscano Arano, H. A. (2011). *Diseño de un modelo de hidrología urbana para la zona centro de la ciudad de Xalapa, Ver. en las faldas del cerro de Macuiltépec*. Xalapa, Veracruz: Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Región Xalapa.
- UNESCO. (2002). *Gestionar los riesgos*. Obtenido de http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/gestionar_riesgos.shtml
- UNESCO. (2010). *3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio*. World Water Assessment Program – WWAP.
- Uribe, R. E., Piña, H. B., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua, vol III, núm. 3*, 5-25.
- Vélez, A. S., Núñez, R. M., & Trujano, A. P. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

¡Gracias por su atención!...



“Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuena urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora.”



Acabó 😊...