



**“Del antropoceno a la sustentabilidad”**



**7<sup>mo</sup>** Congreso Nacional  
de Investigación en  
Cambio Climático

**“SUDS: APLICACIÓN PRÁCTICA A  
UN TRAMO DEL PASEO MIGUEL  
DE LA MADRID HURTADO EN LA  
CIUDAD DE COLIMA, COLIMA”**

**Presenta:**

**Oscar Alejandro Salazar Sabas**  
([salazarsabasoscar@gmail.com](mailto:salazarsabasoscar@gmail.com))

**Colima, 4 de Octubre 2017**



## Estructura de la presentación

### Contenido

1. Introducción
2. Caso de estudio
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones





## Contenido

### 1. Introducción

### 2. Caso de Estudio

### 3. Metodología

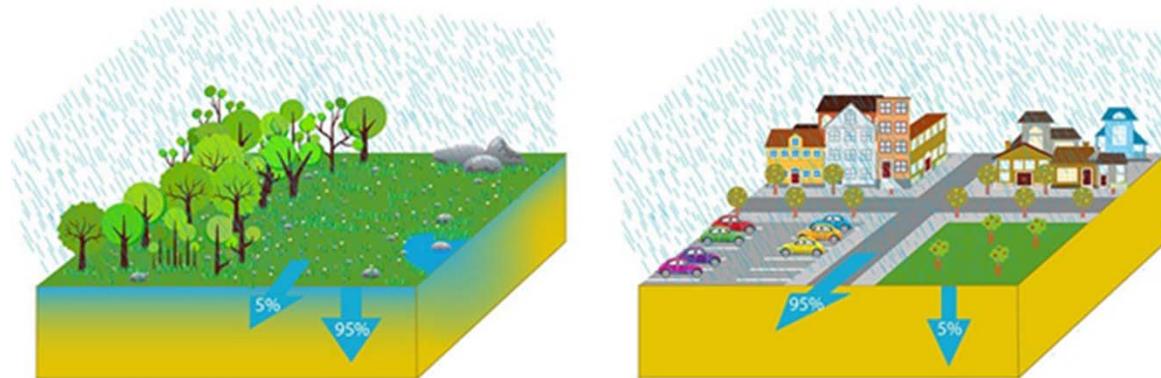
### 4. Resultados

### 5. Conclusiones

## Contexto

El crecimiento de las ciudades durante el último siglo ha generado procesos de expansión urbana dando lugar así a grandes y extensas regiones metropolitanas.

En una investigación en España, se demostró que en una zona urbana de alta densidad habitacional, el 95% de la precipitación se convierte en escurrimiento.





## Contenido

### 1. Introducción

### 2. Caso de Estudio

### 3. Metodología

### 4. Resultados

### 5. Conclusiones

## Planteamiento del problema

La ciudad de Colima se encuentra en pleno desarrollo, muestra de esto es que en periodo 2000 – 2016 la mancha urbana del municipio ha aumentado en un 54.13%.

Hoy día el paisaje urbano en Colima ha sufrido la pérdida y fragmentación de ambientes naturales que han quedado inmersos dentro de la ciudad.



Así surgen dos problemas:

1. Inundaciones
2. Reducción de recarga de cuerpos de agua subterráneos



## Contenido

### 1. Introducción

### 2. Caso de Estudio

### 3. Metodología

### 4. Resultados

### 5. Conclusiones

## Objetivo general

Generar una propuesta para el manejo de los escurrimientos urbano utilizando *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible* sobre el Paseo Miguel de la Madrid Hurtado; en el tramo Av. Ignacio Sandoval – Av. Venustiano Carranza, ubicado en la zona norte de la Ciudad de Colima, Colima. Priorizando la cantidad y calidad del agua de lluvia con el fin del aprovechamiento de la cuenca urbana.



## Contenido

### 1. Introducción

### 2. Caso de Estudio

### 3. Metodología

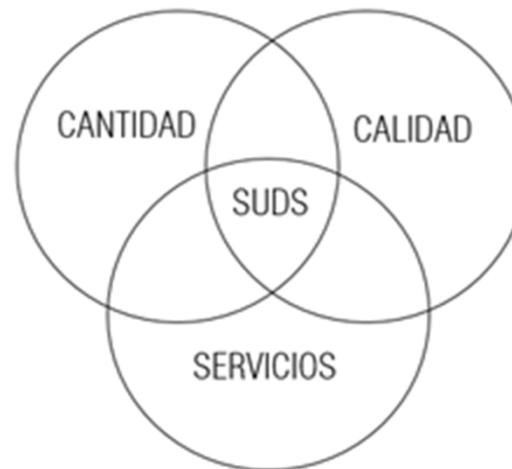
### 4. Resultados

### 5. Conclusiones

## SUDS

### ¿ Qué son los SUDS?

Los SUDS se pueden definir como elementos integrantes de la infraestructura (urbano-hidráulico-paisajística) cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua.





Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

# Clasificación de los SUDS

Clasificación de  
Grupo GITECO

Medidas preventivas

- Legislación
- Educación ciudadana
- Programación Económica

Sistemas de infiltración  
o control en origen

- Superficies permeables
- Pozos y zanjas de infiltración
- Depósitos de infiltración

Sistemas de transporte  
permeable

- Drenes filtrantes o franceses
- Cunetas verdes
- Franjas filtrantes

Sistemas de tratamiento  
pasivo

- Depósitos de detención
- Estanques de retención
- Humedales artificiales



# “Del antropoceno a la sustentabilidad”

## Contenido

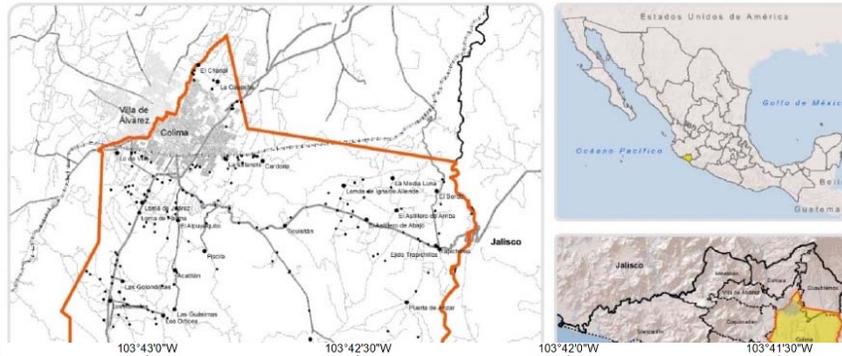
1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones



## Área de estudio

### Ubicación:

- Situado al noreste de la zona metropolitana Colima – Villa de Álvarez
- Dentro de la cuenca hidrológica del río Armería

### Características:

- El trayecto del proyecto tiene una longitud de 1.70 km
- Pendiente promedio de 2%
- Suelo predominante: Arcilla limosa



## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

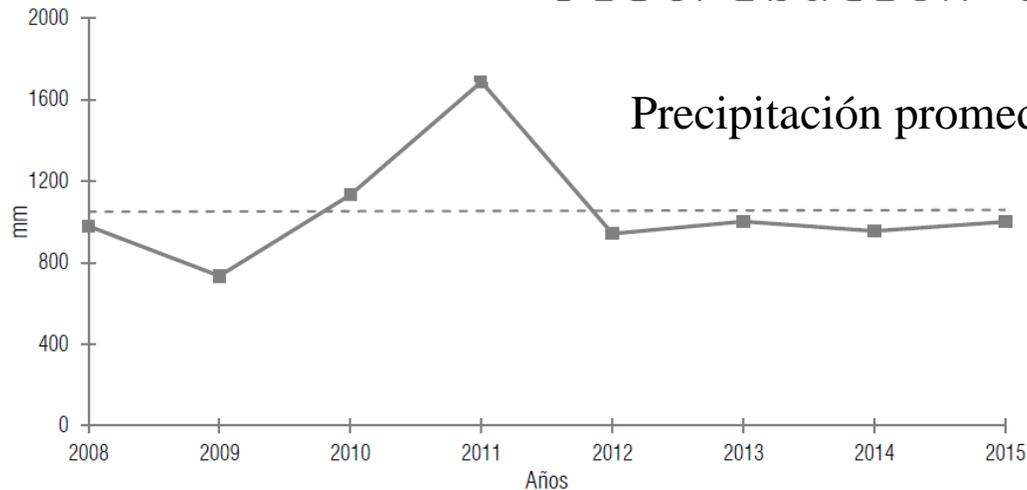
3. Metodología

4. Resultados

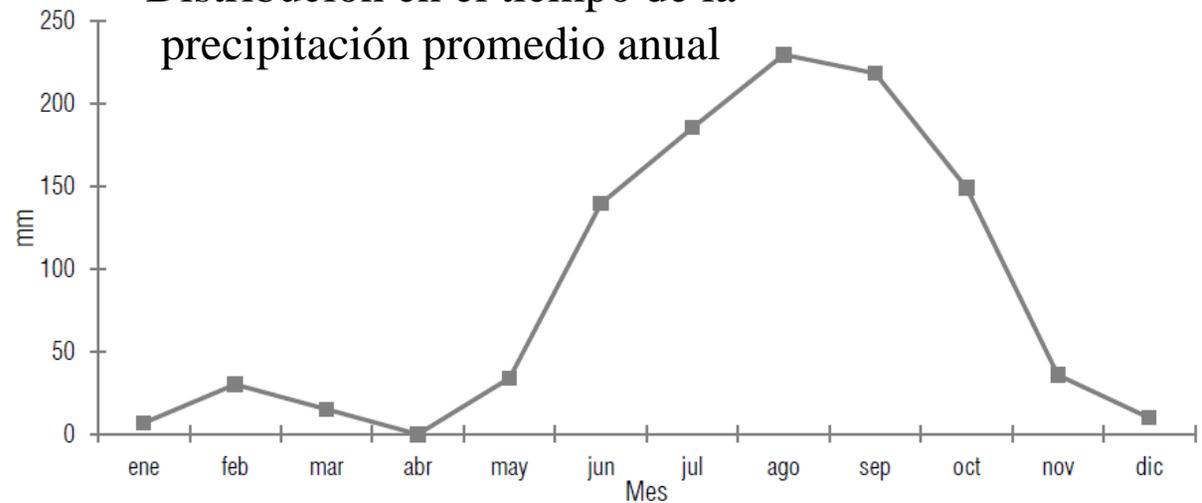
5. Conclusiones

## Distribución temporal de la precipitación

Precipitación promedio anual



## Distribución en el tiempo de la precipitación promedio anual





## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Estimación de la Avenida de diseño

### Datos de precipitación empleados

E.T.A. Comala		Colima Observatorio	
Número de estación	6052	Número de estación	6040
Altitud (msnm)	706	Altitud (msnm)	444.48
Longitud	630974.918	Longitud	634464.024
Latitud	2134993.491	Latitud	2125358.408
Distancia a proyeto (m)	4402	Distancia a proyeto (m)	5740

- Periodo considerado: 1987 – 2014
- Se buscó una tormenta con periodo de retorno de 10 años
- La precipitación resultante para ese periodo fue de 152 mm durante la tormenta

Método de Gumbel

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Número ordinal} + 1}{\text{Número de datos}}$$



## Contenido

1. Introducción

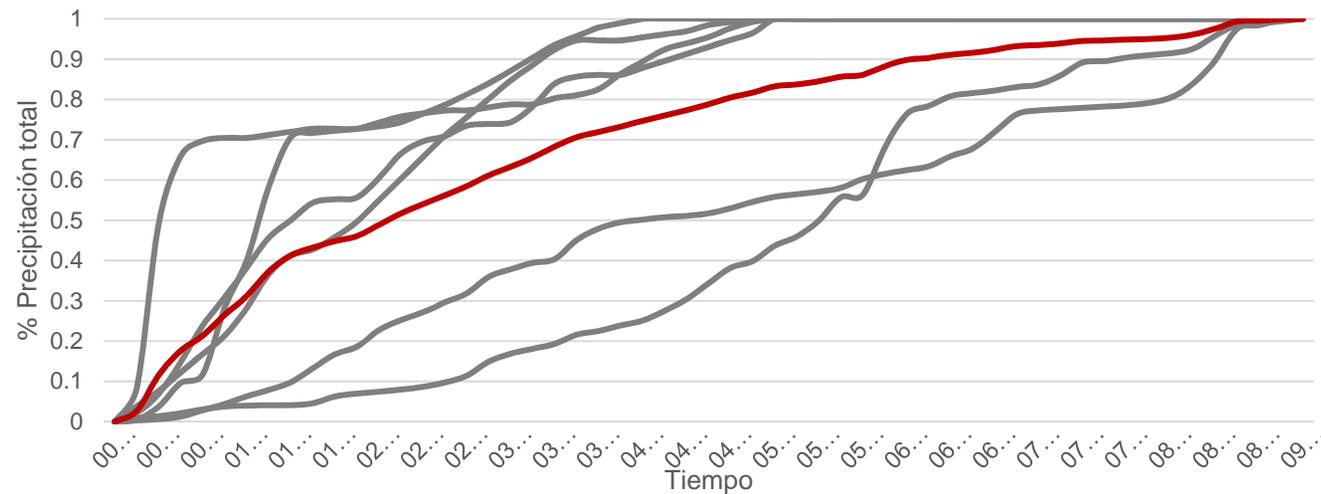
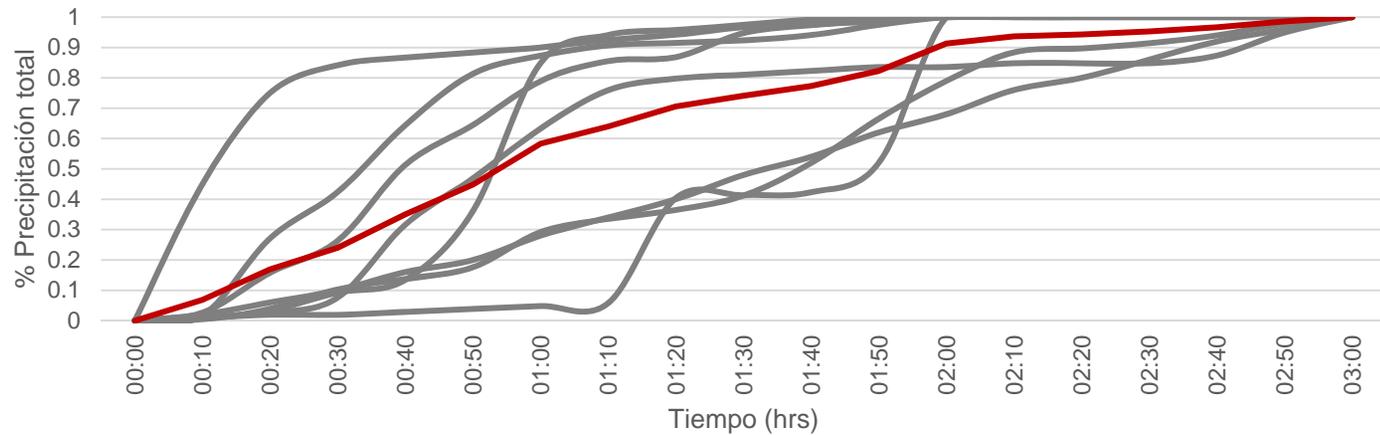
2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Hietograma de diseño





# “Del antropoceno a la sustentabilidad”



## Contenido

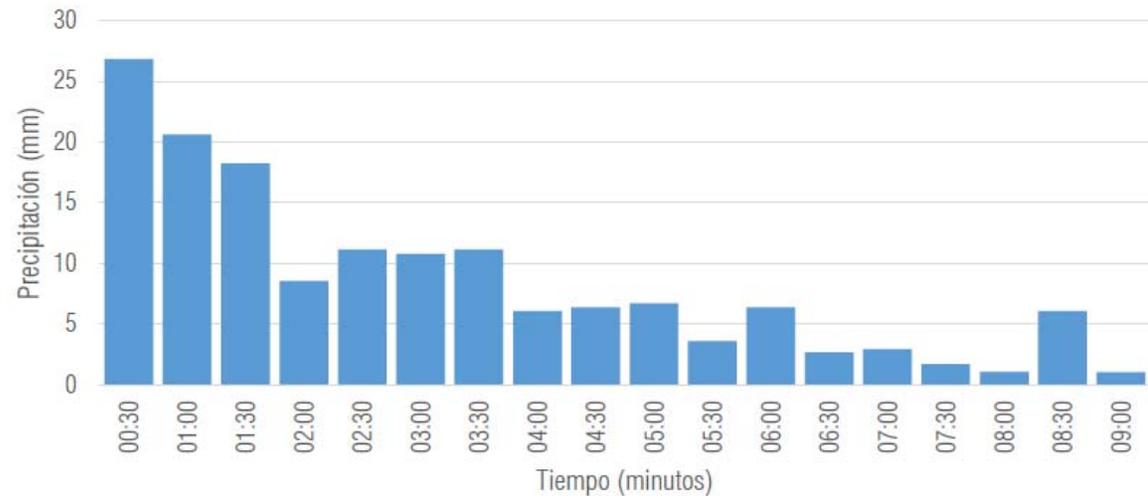
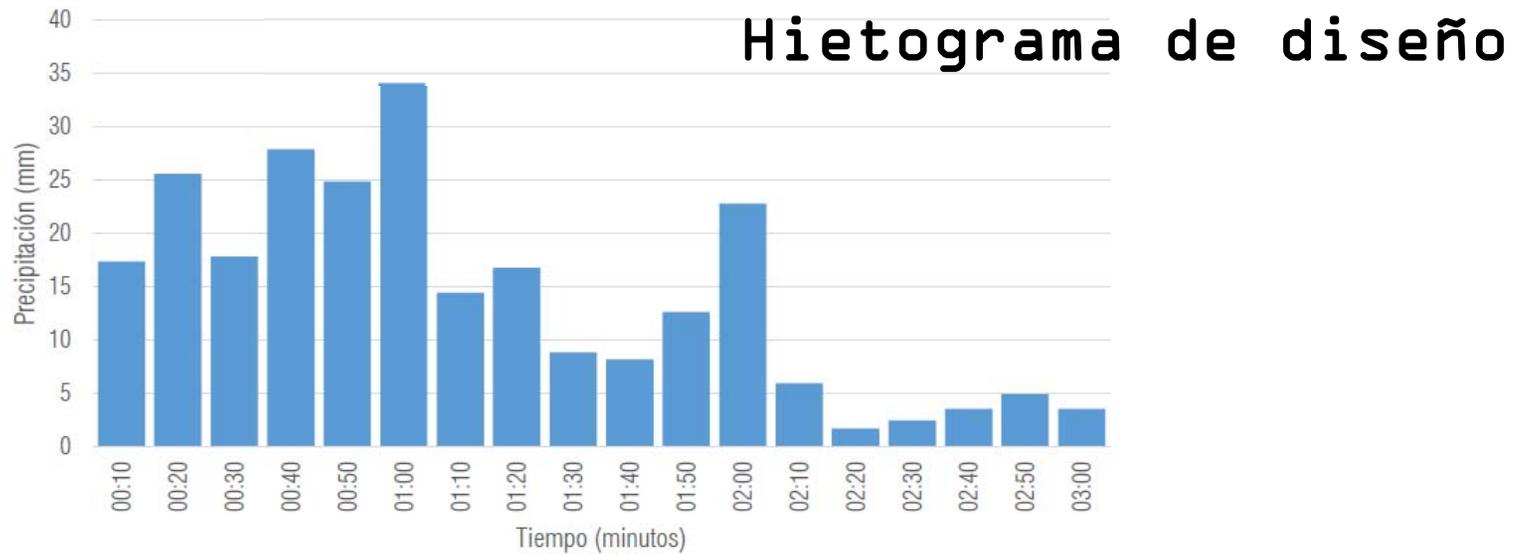
1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones





Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

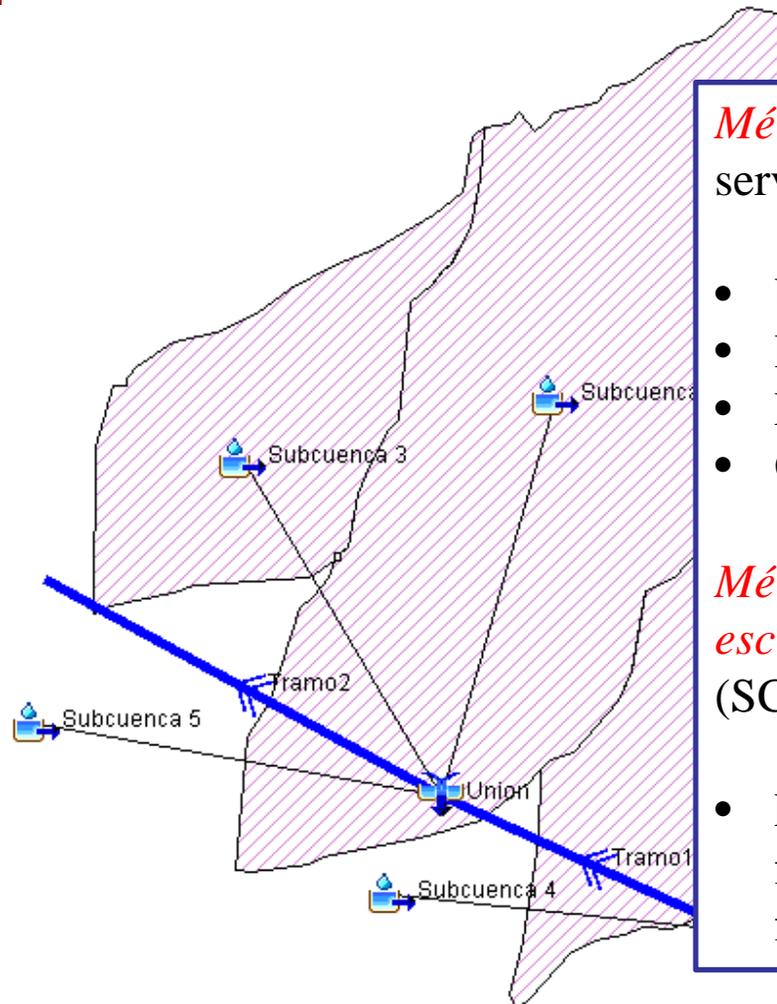
3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

Modelado en HEC – HMS 4.2

Modelo simulado



*Método de pérdida:* Soil conservation service (scs).

- Utilizando:
- Humedad antecedente “I”
- Números de curva (Chow, 1994)
- Grupo Hidrológico de suelo “C”

*Método de transformación lluvia - escurrimiento:* Hidrograma unitario (SCS)

- El tiempo de retardo y concentración fueron calculados mediante la formulación de Kirpch



## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Tormenta de 3 hrs. Avenida de diseño

Elemento	Área drenada (km <sup>2</sup> )	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Hora de caudal punta
Subcuenca 1	0.55	8.966	01:00
Subcuenca 2	1.26	16.779	01:10
Subcuenca 3	0.44	12.826	01:00
Subcuenca 4	0.04	1.094	01:00
Subcuenca 5	0.05	1.313	01:10
Tramo 1	0.59	9.788	01:10
Tramo 2	2.34	35.853	01:20

## Tormenta de 9 hrs.

Elemento	Área drenada (km <sup>2</sup> )	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Hora de caudal punta
Subcuenca 1	0.55	2.483	01:10
Subcuenca 2	1.26	4.508	01:20
Subcuenca 3	0.44	5.160	01:10
Subcuenca 4	0.04	0.638	00:30
Subcuenca 5	0.05	0.738	00:40
Tramo 1	0.59	2.938	01:30
Tramo 2	2.34	11.368	01:30



## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Selección de la técnica

*Stormwater Best Management Practices: Guidance Document (SBMP) (2014)*

Grupo de SUDS	Tipo de SUDS	Eliminación de contaminantes				Aplicabilidad			Proceso de reducción de escorrentía	
		Sedimentos	Nutrientes	Bacterias	Metales	Zona de aplicación	Recarga de acuíferos	Requerimientos de espacio	Reducción del volumen	Reducción del caudal punta
Pretratamiento	Franja filtrante con vegetación	M	B	B	B	Pública		A	M	M
Pretratamiento	Separadores hidrodinámicos	M	B	B	M	Pública		B	B	B
Tratamiento	Bioretención	A	M	A	A	Ambas	X	M	M	B
Tratamiento	Caja de plantas	A	M	A	A	Ambas		B	M	B
Tratamiento	Filtro con arboles	A	M	B	M	Ambas		B	B	B
Tratamiento	Humedales	A	M	B	A	Pública		A	B	A
Tratamiento	Filtros de arena	A	M	M	A	Pública		A	B	B
Infiltración	Drenes filtrantes	A	A	A	A	Pública	X	A	A	A
Infiltración	Fuente seca	A	B	B	B	Privada	X	B	A	M
Infiltración	Depósitos de infiltración	A	A	A	A	Ambas	X	M	A	M
Infiltración	Sistemas de infiltración subsuperficiales	A	B	B	B	Ambas	X	M	A	M
Transporte	Cunetas	A	B	B	M	Pública		A	B	B
Otros	Pavimento poroso	A	M	M	M	Ambas	X	M	A	M
Otros	Cisternas	NA	NA	NA	NA	Pública		B	M	M
Otros	Azoteas verdes	B	B	B	B	Pública		M	A	M



Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

The SuDS Manual (versión 2017) **Detección de la técnica**

Grupo de SuDS	Tipo de SuDS	Sólidos		Metales		Nutrientes		Bacterias		a tratar y aminantes		volumen miento		Desnivel entre extremos del sistema		Aplicabilidad en espacio	
		Permeabilidad del suelo		Área de drenaje		Profundidad del nivel freático		Pendiente									
		Impermeable	Permeable	0 - 2 ha	> 2 ha	0 - 1 m	> 1 m	0 - 5 %	> 5 %	0 - 1 m	1 - 2 m	Bajo	Alto				
R	Retención	S	S <sub>1</sub>	S	S <sub>5</sub>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	
	Almacenamiento subsuperficial	S	S	S	S <sub>5</sub>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
H	Humedales	S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	S	N	S	S	N	S	N	S		
In	Infiltración	N	S	S	N	N	S	S	S	S	S	N	S	S	S		
	Depósito de infiltración	N	S	S	S <sub>5</sub>	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S		
	Pozo de absorción	N	S	S	N	N	S	S	S	S	N	S	S	S			
Fi	Filtración	S	S	S	S <sub>5</sub>	N	S	S	N	N	S	N	S	S	N	S	
	Filtro de arena superficial	S	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	S	S	S		
	Filtro de arena subsuperficial	S	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	S	N	S		
	Bioretención	S	S	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	
D	Dren filtrante	S	S <sub>1</sub>	S	N	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S		
Detención	Deposito de detención	S	S <sub>1</sub>	S	S <sub>5</sub>	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S		
Canales abiertos	Cuneta transportadora	S	S	S	N	N	S	S	N <sub>3</sub>	S	N	N	S	N	S		
C	Control de origen	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Azotea verde	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Cisterna	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S			
Pavimento poroso	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S			



## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones



## Dren filtrante

### *Fortalezas*

Alto grado de eliminación de contaminantes y gran control hidráulico.

### *Debilidades*

Mantenimiento continuo y limitado a drenar áreas pequeñas.

## Análisis FODA



## Sistema de infiltración subsuperficial

### *Fortalezas*

Estructura muy simple y eficaz en la reducción de los escurrimientos.

### *Debilidades*

Alto potencial de mantenimiento y requiere de mucho espacio



Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

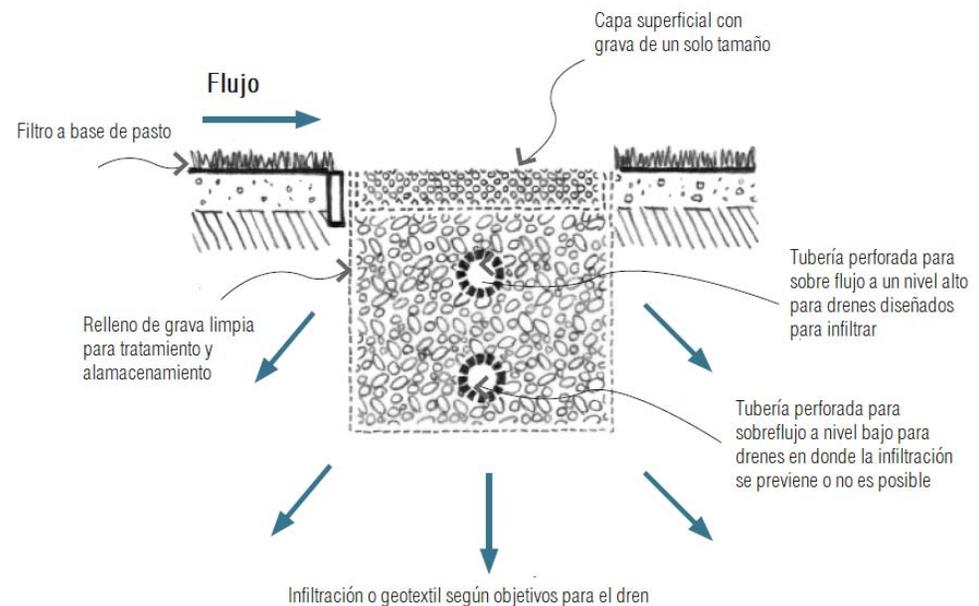
4. Resultados

5. Conclusiones

# Consideraciones generales de diseño **Diseño del sistema**

- Dimensiones
- Ubicación
- Permeabilidad
- Tiempo de filtración
- Topografía
- Tubería
- Geotextil

El diseño se realizó considerando el 25% de la avenida máxima obtenida durante la simulación en HEC - HSM





## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Diseño de tubería

Diseñadas con los métodos de Manning y de la Continuidad para calcular la velocidad y el gasto respectivamente.

$$Velocidad (v) = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{S}$$

$$Caudal (Q) = AV$$

Dren	Caudal punta	S Pendiente (m/m.)	Ø Diámetro cm	Funcionamiento hidráulico				
				Tubo lleno (LPS)		Q1 / Q	V1 / V	Velocidad Real (m/s)
				Gasto	Velocidad			
1	372	15.00	48	599.10	3.31	0.622	1.053	3.487
2	375	15.00	48	599.10	3.31	0.626	1.055	3.494
3	676	15.00	60	1086.23	3.84	0.623	1.054	4.049
4	1549	15.00	76	2040.28	4.50	0.759	1.100	4.946

Máxima 5 m/s



**Contenido**

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Dimensiones y capacidad de almacenamiento

Para el dimensionamiento del sistema SUDS se tomaron como base los diámetros de las tuberías.

Las recomendaciones de los manuales de diseño son:

1. El ancho del dren debe ser de tres veces el diámetro de la tubería.
2. La profundidad debe oscilar en uno y tres metros.

Dren	Diámetro (cm)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Volumen total (m <sup>3</sup> )	% de vacíos	Volumen para almacenamiento (m <sup>3</sup> )
1	43	1.00	1.3	1.29	0.50	0.50
2	48	1.00	1.4	1.44	0.50	0.54
3	60	1.20	1.8	2.16	0.50	0.80
4	76	1.50	2.3	3.42	0.50	1.26



**Contenido**

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

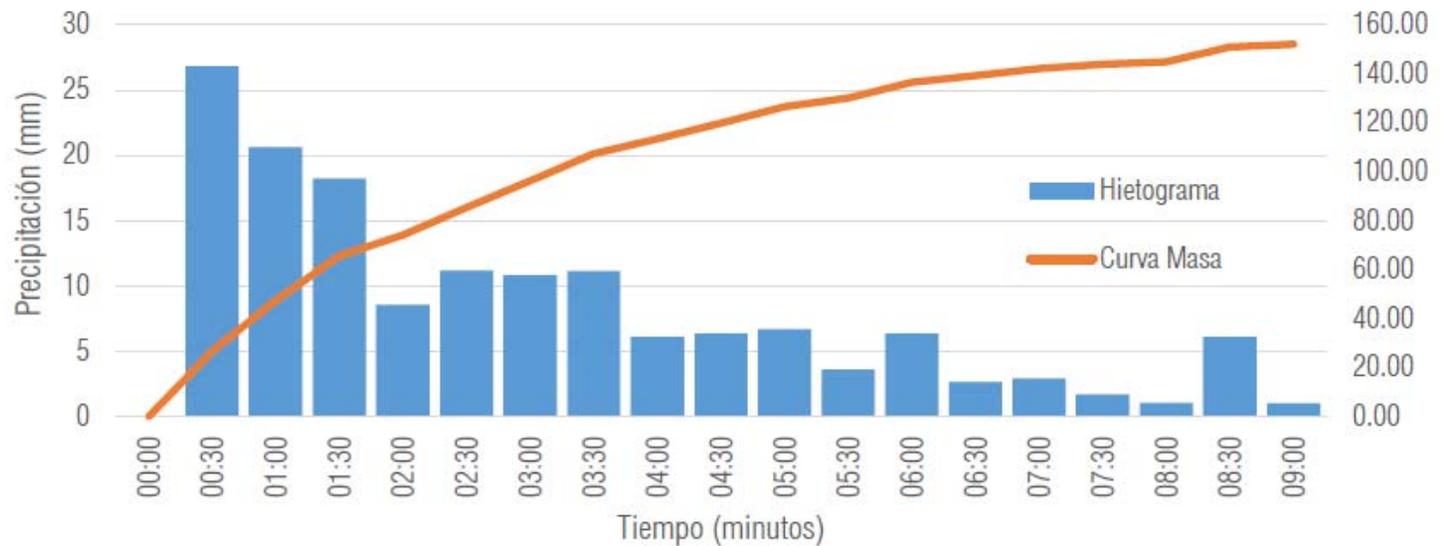
5. Conclusiones

## Comprobación de eficiencia en SWMM

Subcuenca	Número de curva (N)
Sub1	66.39
Sub2	64.32
Sub3	79.08
Sub4	95.37
Sub5	95.37

Números de curva empleados

Hietograma de diseño





# “Del antropoceno a la sustentabilidad”



## Contenido

1. Introducción

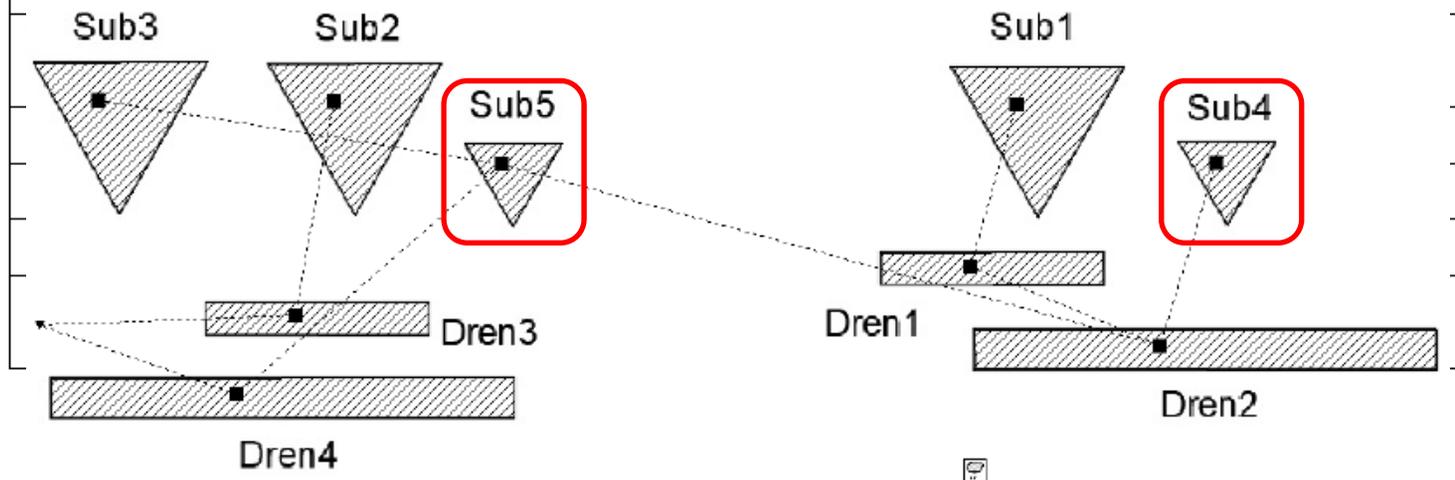
2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

Parámetro	Descripción	Valor
Altura máxima del dren	Altura a la cual se desbordaría el volumen de agua en el sistema.	1.00, 1.20, 1.50 m
Volumen de vegetación	Porcentaje de vegetación en el elemento.	0.00
Coefficiente de rugosidad de Manning	Coefficiente de resistencia al flujo.	0
Pendiente	Pendiente media de la vialidad.	1.50%
Altura de almacenamiento del dren	Altura máxima óptima a la cual debería permanecer el flujo del dren.	95, 1.15, 1.45 cm
Relación de vacíos	Porcentaje de vacíos generados por el relleno gravoso del dren	50%





## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Resultados

### Comportamiento de los SUDS durante la tormenta

Subcuenca	Infiltración (m <sup>3</sup> )	Flujo drenado (m <sup>3</sup> )	Almacenamiento (m <sup>3</sup> )
Dren1	6.23	5330.57	202.43
Dren2	8.94	5297.21	269.90
Dren3	6.63	11936.81	239.18
Dren4	17.23	24664.89	775.53

### Eficiencia de los SUDS para reducción de escurrimientos

Subcuenca	Flujo de entrada (m <sup>3</sup> )	Excedente (m <sup>3</sup> )	% de reducción
Dren1	48124.76	42120.42	12.48
Dren2	53364.10	47099.42	11.74
Dren3	82015.04	69020.76	15.84
Dren4	113338.45	85450.67	24.61



## Contenido

1. Introducción

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

## Conclusiones

- Sistemas convencionales y SUDS como un conjunto
- Diseño de los SUDS mediante el triangulo de la sostenibilidad
- Utilización de SUDS en suelos impermeables
- Integración de los SUDS desde etapas iniciales de nuevos desarrollos
- Sistemas de captación de agua de lluvia





“Del antropoceno a la sustentabilidad”



UNIVERSIDAD  
DE COLIMA



Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad de Colima

**¡Gracias por su atención!**

Presenta:

Oscar Alejandro Salazar

(salazarsabasoscar@gmail.com)