

ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL PREDIO IMSS UBICADO EN EL MUNICIPIO DE BAHIA DE BANDERAS, NAYARIT

Contenido

1. DATOS Y LOCALIZACION	1
2. FISIOGRAFÍA	3
2.1 Microcuenca del cauce principal	3
3. CLIMATOLOGÍA	4
3.1 Distribución Probabilística	5
4. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	8
4.1 Número de escurrimiento (N)	8
4.2 Coeficiente de escurrimiento (Ce)	11
4.3 Precipitación en exceso (Pe)	13
5. GASTOS DE DISEÑO	15
5.1 Método del Hidrograma Unitario	15
5.2 Método Racional	18
5.3 Método de Chow	19
5.4 Selección del gasto de diseño	22

1. DATOS Y LOCALIZACION

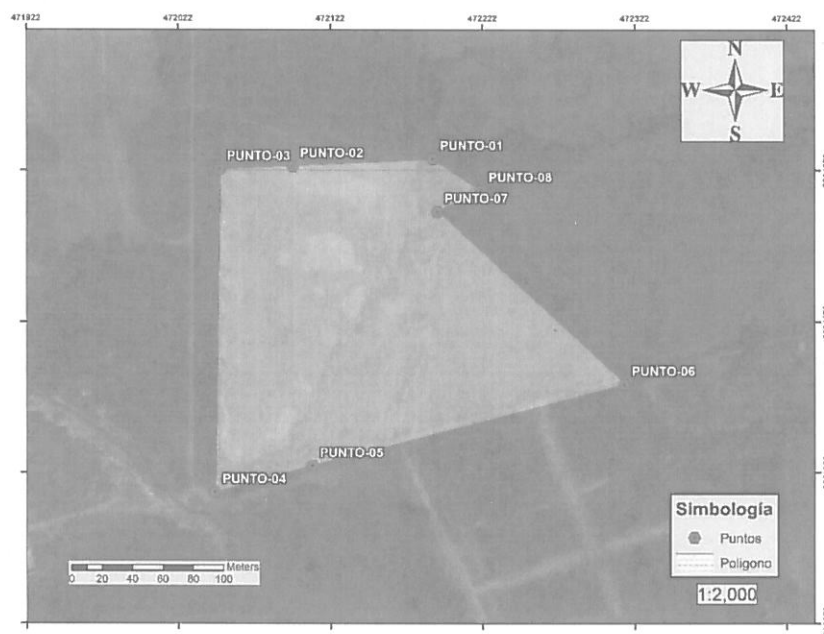
El presente estudio lo llevo a cabo el Ingeniero Civil José Jayro Torres Torres, con Cedula Profesional, emitida por la SEP, número 2811317. Estudio realizado con datos registrados en la estación climatológica más cercana al predio, misma que pertenece o está bajo la administración de la Comisión Nacional del Agua en Nayarit.

Atendiendo la descripción de la Red Hidrográfica escala 1:50,000 edición: 2 del INEGI que divide y agrupa a los cuerpos de agua superficiales en unidades de trabajos de diferentes niveles de desagregación cada una, de mayor a menor importancia son: Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca. El Polígono denominado IMSS se localiza en el límite sureste de la subcuenca "Rio Huicicila" con clave RH13Ba que pertenece a la cuenca "R. HUICICILA - SAN BLAS" con clave B y a su vez está contenida en la región hidrológica "HUICICILA" con clave RH13; A menos de 130 metros aproximadamente de la Región Hidrológica "Rio Ameca" medidos desde el vértice más cercano.

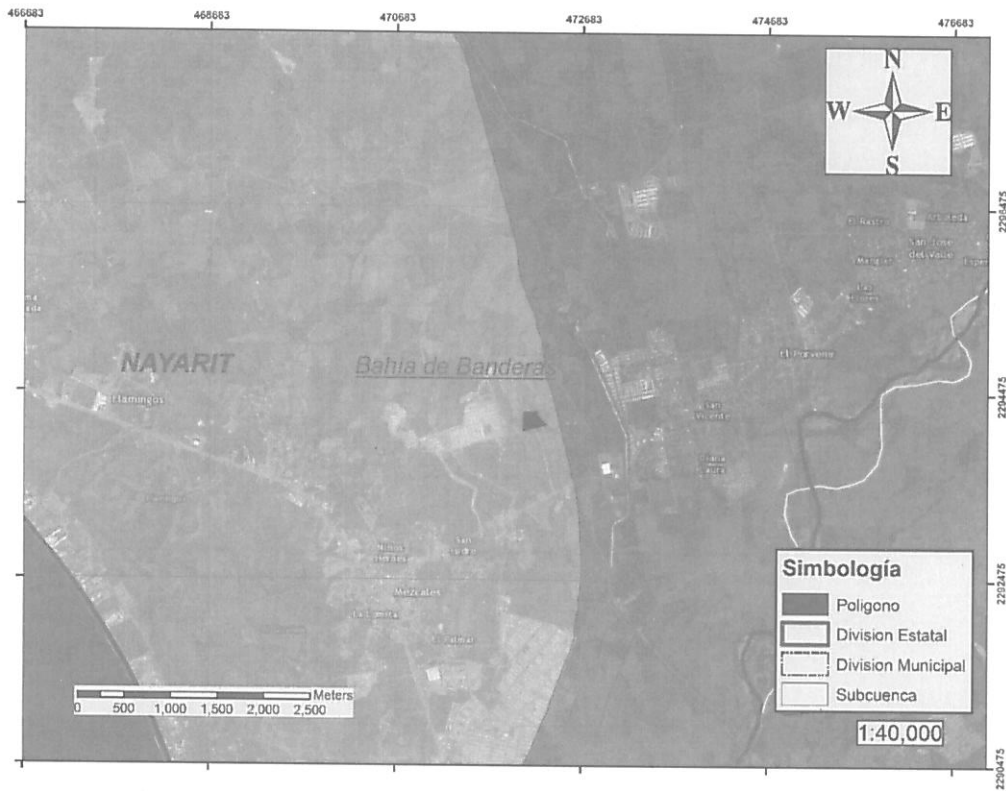
Los datos de construcción del polígono se muestran en la siguiente tabla.

Cuadro de Construcción						
Estación	Punto Visado	Rumbo	Distancia (m)	vértice	Coordenadas	
					x	y
				1	472,189.00	2,294,286.00
1	2	S 87°1'49.15" W	91.315	2	472,097.00	2,294,281.00
2	3	S 87°18'8.26" W	47.872	3	472,049.00	2,294,279.00
3	4	S 0°54'41.56" W	214.099	4	472,046.00	2,294,065.00
4	5	N 74°12'42.39" E	67.086	5	472,110.00	2,294,083.00
5	6	N 75°12'53.13" E	212.017	6	472,315.00	2,294,137.00
6	7	N 47°9'23.83" W	167.933	7	472,221.00	2,294,265.00
7	8	N 65°52'39.04" E	31.487	8	472,192.00	2,294,251.00
8	1	N 57°2'50.96" W	38.993	1	472,189.00	2,294,286.00

*superficie aproximada de 3.79 hectáreas



El polígono IMSS se encuentra ubicado en el municipio bahía de banderas, colinda con el Fraccionamiento Altavela, los centros urbanos de San Vicente y San Clemente de Lima están próximos a él.



2. FISIOGRAFÍA

La fisiografía de una cuenca hidrológica es indispensable en el estudio de la misma, datos como el área, la longitud y la pendiente del cauce son básico para determinar los gastos de diseño si no se tiene datos obtenidos de una estación.

2.1 Microcuenca del cauce principal

Los datos fisiográficos para el cauce Principal son los siguientes:

Área de Captación (Microcuenca) = 0.40 km²

Perímetro de Cuenca = 3,657 m

Elevación Mínima = 18 m

Elevación Máxima = 30 m

Longitud del Cauce = 1.2 km

Pendiente Geométrica = 1.00 %



3. CLIMATOLOGÍA

Los datos a partir de los cuales se determinó la precipitación de diseño fueron los obtenidos de la estación climatológica "SAN JOSE DEL VALLE" dependiente de la Comisión Nacional del Agua Dirección Local Nayarit con las coordenadas geográficas LATITUD 20°44'38" y LONGITUD 105°13'46". A continuación se presenta el registro de las precipitaciones máximas en 24 horas para dicha estación.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1969				0	INAP	20.4	73.2	100.0	47.4	43.2	2	20.9	73.2
1970	INAP	11.3	INAP			60.8	60.8	80.3	94.3	43.2	2		94.3
1971	INAP		INAP	INAP					125.8	124.8	INAP	INAP	125.8
1972	30.5	0	0	0	INAP	61.2	55	56.5	63	26.3	38	2.5	63
1973	21.1	20.5	5	0.4	0.1	13.5	58	87.3					87.3
1974					14.8	69.1	34.6	100	54	12.8	INAP	53	100
1975	0	0.2	0	0	0	34	170.5	71.6	107				170.5
1976						63	9.1	65.7	42	18	37.5	27	65.7
1977	INAP	0	INAP	0	0	8	68	192	44.5	57	20.5	11	192
1978	0	34.5	0	INAP	0	80	86	40.4	73.5	69	INAP	0	86
1979	25	INAP	0	0	0	6.5		43	57	0	0		57
1980	54	9.5	0	INAP	0	50	46	51	94	41	31	6.5	94
1981	43	0	3.5	INAP	INAP	16	35	28.5	82.5	37	7	INAP	82.5
1982	0	0	0	0	0	28	57.5	58.5	64	65.5	41	19	65.5
1983	8.5	1	5	0	98	59	73	50.5	89	16	14	0	98
1984	109	0	0	0	0	29	52	36	40	21	0	6.5	109
1985	31	2.5	INAP	0	7	67.5	77	71	32	13	0	2	77
1986	0	13	0	INAP	3	INAP	20	87.5	41	19	INAP	7.5	87.5
1987	48	34.5	0	0	0	14	130	130	87.5	7	6	1	130
1988	0	0	INAP	0	0	49	30	20.5	82.5	31	0	INAP	82.5
1989	0	0	0	0	0	17	94	59	43	61	25	14	94
1990	0	14	0	0	0		91	60	34	49	0	0	91
1991	0	0	0	0	0	65	47	90	71	17	12	39	90
1992	40	28	0	0	0	10	160	44	80	50.5	22	37	160
1993	20	0	0.6	0	0	31	57	68	68	20	4	0	68
1994	16.5	0	0	0	0	32	68	44	45.5	20	7	0	68
1995	0	0	0	0	0	0	30	63	80	1	0	1	80
1996	0	6	0	0	3	2	20	81.5	41	19	5		81.5
1997	31	8.5	0	0	0	29	30	94.4	81.5	125.6	25.5	0.7	125.6
1998	0	0	0	0	0	112	62.6	53	160	17	0.4	0	160
1999	0	0	4	0	0	51	40	80	43	30	0	0	80
2000	0	0	0	0	10	40	58	62.1	60.2	71	0	0	71
2001	0	0	10.9	0	0	33	140	80.4	45.5	60.3	0		140
2002	0	67.5	0	0	0	16.3	30	107.6	140	201.5	56.8	8	201.5
2003													0

2004	25	0	0	0	0	29	121	60	60	11	0	0	121
2005	0	14	0	0	0	40	94	115	55	90	0	0	115
2006	0	0	0	0	0	27	42	42	24.5	24	20	3	42
2007	3.5	0	0	0	0	47	57	31.3	95	56.3	0		95
2008	0	0	0	0	0	40	72	128.5	56.5	34.8	0.7	0	128.5
2009	0	0	0	0	2.5	80.3	68.5	91	51.5	75	0	37.5	91
2010	10	43	0	0	0	22	104.5	100.5	102	10	0	0	104.5
2011	0	0	0	0	0	42	68.5	92	21.5	23.5	0	0	92
2012	0	8	0	0	25.5	54	74		32.5	45.5	0	0	74
2013	44.8	0	0	0	0								44.8

*Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas, SAN JOSE DEL VALLE (1969-2013). * Todas las precipitaciones están en milímetros.*

El registro presenta una continuidad 44 años, con un rango de variación en las precipitaciones máximas de más de 150 milímetros. La de menor altura se presentó en el año 2005 con 42.0 milímetros*, mientras que la más importante tuvo lugar en el año de 2002 cuando la estación registro 201.5 milímetros. La media de las precipitaciones en el periodo es de 99.19 milímetros. Y la desviación estándar es de 36.45 milímetros.

** En el año 2003 a falta de registros se tiene una altura de precipitación de 0.00 mm que se omitió en los análisis probabilísticos y estadísticos*

3.1 Distribución Probabilística

A partir de este registro se llevó acabo el ajuste probabilístico, previa evaluación del error estándar generado para los diferentes métodos que a continuación se muestran.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	11.169		11.169	
Lognormal	6.523	6.601	7.164	108.442
Gumbel	6.418		7.392	
Exponencial	7.173		52.259	
Gamma	109.416	109.416	1111.000	1111.000
Doble Gumbel	5.592			

Errores Estándar Calculados para los Diferentes Métodos de Ajustes de Probabilidad.

De la valoración del error estándar se determinó que el método que mejor describe el comportamiento de las lluvias es el "Doble Gumbel", al tener el menor error con 5.592

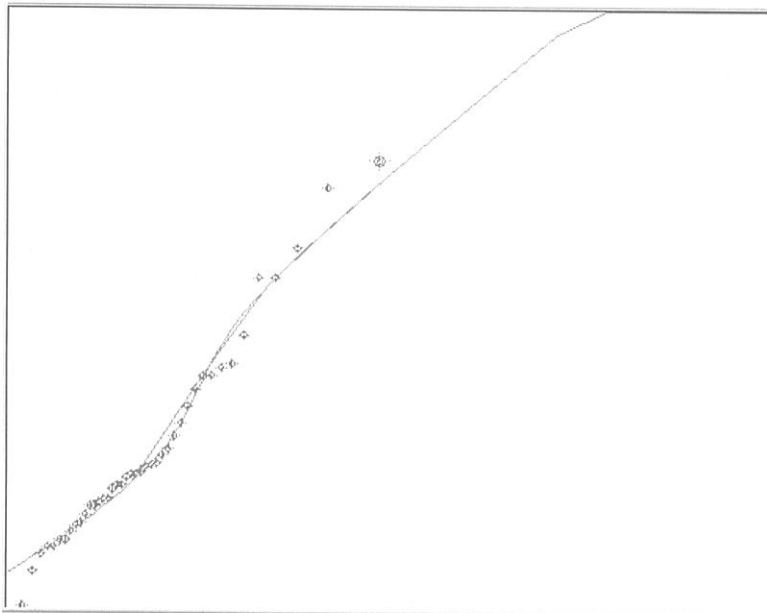
Tras realizar el ajuste probabilístico se obtuvo la siguiente relación entre las precipitaciones presentadas a lo largo de los 44 años de registro y su periodo de retorno estimado.

TR	Datos	calculado	Error^2
44	201.5	193.31	67.15
22	192	177.47	211.13
14.67	170.5	167.56	8.65
11	160	159.97	.
8.8	160	153.54	41.74
7.33	140	147.71	59.4
6.29	130	142.12	146.97
5.5	128.5	136.51	64.19
4.89	125.8	130.64	23.42
4.4	125.6	124.44	1.36
4	121	118.32	7.17
3.67	115	112.99	4.04
3.38	109	108.63	0.14
3.14	104.5	105.04	0.3
2.93	100	102.02	4.07
2.75	98	99.39	1.94
2.59	95	97.06	4.26
2.44	94.3	94.96	0.44
2.32	94	93.04	0.92
2.2	92	91.26	0.55
2.1	91	89.6	1.97
2	91	88.03	8.83
1.91	90	86.54	11.98
1.83	87.5	85.11	5.7
1.76	87.3	83.74	12.66
1.69	86	82.41	12.85

1.63	82.5	81.12	1.89
1.57	82.5	79.86	6.97
1.52	81.5	78.62	8.31
1.47	80	77.39	6.81
1.42	80	76.17	14.67
1.38	77	74.95	4.21
1.33	74	73.72	0.08
1.29	73.2	72.48	0.52
1.26	71	71.21	0.04
1.22	68	69.9	3.61
1.19	68	68.54	0.29
1.16	65.7	67.1	1.96
1.13	65.5	65.55	.
1.1	63	63.84	0.71
1.07	57	61.88	23.8
1.05	44.8	59.47	215.26
1.02	42	56.05	197.51

Asociación entre las Alturas de Precipitación y su Periodo de Retorno, y su Error Cuadrático.

En la siguiente imagen apreciamos el comportamiento descrito por el ajuste probabilístico (datos calculados) y los datos observados.



Grafica Comparativa entre Datos Observados y Datos Calculados, Ajuste Normal de Probabilidad.

Extrapolando a partir del ajuste se obtuvieron las siguientes alturas de precipitación para diferentes periodos de retorno.

TR	Dato Calculado
2	88.03
5	131.84
10	157.3
20	175.2
50	196.14
100	211.26
200	226.1
500	245.59
1000	253.84
2000	253.84
5000	253.84
10000	253.84

Precipitación Asociada a Periodos de Retorno.

4. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

4.1 Número de escurrimiento (N)

Existen diferentes metodologías para determinar la escorrentía superficial producida por un evento de precipitación, uno de los más comúnmente aceptados es el propuesto por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el cual emplea una variable que refleja la condición de uso y composición del suelo así como del estado de humedad, el tratamiento y la pendiente del terreno en la zona de interés, esta variable es el número de escurrimiento (N). El número de escurrimiento se obtiene por medio de la clasificación de las condiciones antes descritas de la zona de estudio por medio de las siguientes tablas.

TIPO	CARACTERISTICA
A	Arenas con poco limo y arcilla de tamaño medio (escurrimiento mínimo)
B	Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de ambos
C	Arenas muy finas, limos y bastante arcillas
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizonte casi impermeables (escurrimiento máximo)

Tipos de Suelo.

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobres	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos Alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobres	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobres	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobres	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobres	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobres	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobres	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobres	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobres	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobres	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobres	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
naturales	-	Buena	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buena	6	35	70	79
	-	-	30	58	71	78
Prados Permanentes	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
Matorral-herbazal, siendo matorral preponderante	-	Buena	< 30	48	65	73
	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Buena	32	58	72	79
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Buena	25	55	70	77
	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobres	46	68	78	84
Bosques	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy Buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

Numero de Curva para Suelos con Pendientes >2%.

CR: Cubierta de residuos; R: Labores de línea recta; C: Labores en curvas de nivel; T: Terrazas.

Para diferentes tipos de N en la zona de interés el valor de N se determina como un promedio pesado por medio de la ecuación:

$$N = \frac{N_1 A_1 + N_2 A_2 + \dots + N_n A_n}{A_c}$$

De acuerdo con los datos vectoriales de edafología y uso del suelo del INEGI en la zona de estudio se presenta una combinación de **Tipos De Suelos** los cuales son **Regosol** que son suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen y **Cambisol** Literalmente, suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca

subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso Y un **Uso De Suelo** del tipo agricultura de riego.

En la microcuenca del cauce principal basado en los datos vectoriales del INEGI y en la percepción remota se observaron las siguientes características del terreno.

Cauce Principal			
Uso de Suelo	Tipo y Textura de Suelo	Área	N
Agricultura de Riego	Regosol y Cambisol (Re+Be/2)	0.40	71

*Numero de Esgurrimiento. *Datos de Área en km²*

Teniendo así un valor para **N=71**.

4.2 Coeficiente de escurrimiento (Ce)

El coeficiente de escurrimiento es otro método indirecto para el cálculo del volumen escurrido en determinada cuenca. De acuerdo a la normativa NOM-011-CNA-2000 el coeficiente de escurrimiento depende de las características físicas y climáticas de la cuenca, la condición física involucra la capacidad de infiltración y del uso de suelo, estos factores los reduce a un parámetro denominado "K", y en cuanto al clima se debe considerar la precipitación en su modalidad de media anual (P).

La precipitación media anual de la estación climatológica "SAN JOSE DEL VALLE" es de 1005.0 milímetros.

El parámetro K se define a partir de las siguientes tablas.

TIPO SUELO	DE	CARACTERISTICAS
A		Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B		Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C		Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

Tipos de Suelo según su Permeabilidad.

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hileras	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

Parámetro K para Diferentes Tipos de Suelo.

La edafología presente en nuestra zona de estudio se puede considerar de permeabilidad moderada. Mientras que para el uso de suelo se aplicaran la de cultivos

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento se tienen dos fórmulas, su aplicación depende del valor del parámetro K.

K: PARAMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0,15) / 1,5$

Para la cuenca del cauce principal de acuerdo a las características obtenidas de los datos vectoriales y a la percepción remota se estima que **K=0.27**

Cauce Principal		
Uso de Suelo	Área	K
cultivos	0.40	0.27

Parámetro K. Área en km².

Para este valor de K se aplica la segunda fórmula, por lo que se obtiene un **Ce=0.1819**

4.3 Precipitación en exceso (Pe)

La precipitación en exceso es la componente de la precipitación total que da lugar al escurrimiento o volumen escurrido, es decir; el volumen de agua que escurre en una cuenca es el volumen relacionado a la precipitación en exceso y no a la precipitación total. De esta forma si existe una cuenca impermeable en su totalidad la precipitación en exceso será de igual magnitud a la precipitación total presentada, de otra manera esta solo puede representar un porcentaje del total.

De acuerdo al método de los números de escurrimiento (método de la USGS antes SCS) la precipitación en exceso se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$Pe = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08\right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Siguiendo la NOM-011-CNA-2000 que concuerda con la definición de precipitación en exceso, esta se puede deducir como:

$$Pe = Ce * P$$

Con los datos obtenidos para N y Ce, se tienen las siguientes precipitaciones en exceso.

Precipitación en Exceso			
TR	P	Pe(N)	Pe(Ce)
2	88.03	26.47	16.01
5	131.84	57.44	23.98
10	157.30	77.60	28.62
20	175.20	92.39	31.87
50	196.14	110.20	35.68
100	211.26	123.34	38.43
200	226.10	136.43	41.13
500	245.59	153.85	44.68
1000	253.84	161.30	46.18
2000	253.84	161.30	46.18
5000	253.84	161.30	46.18
10000	253.84	161.30	46.18

Precipitación en Exceso para las Microcuencas de Estudio en mm.

Se aprecia una variación importante de las precipitaciones, siendo la calculada por el llamado método de los números la mayor, esto se debe en gran medida a que el método de los números considera la situación de saturación del suelo solo mediante correcciones y se aplica conociendo las condiciones de lluvia 5 días antes de la lluvia de diseño, por lo que es difícil aplicar a una previsión, dicha corrección aumenta considerablemente el número si en los días anteriores se ha presentado una precipitación importante, saturando así el suelo; mientras que si las lluvias previas son mínimas el número se reduce.

Considerando la reducción del número "N" tendríamos las siguientes precipitaciones en exceso.

Precipitación en Exceso Corregida			
TR	P	Pe(N _c)	Pe(Ce)
2	88.03	6.29	16.01
5	131.84	22.90	23.98
10	157.30	35.74	28.62
20	175.20	45.84	31.87
50	196.14	58.57	35.68
100	211.26	68.31	38.43
200	226.10	78.24	41.13
500	245.59	91.81	44.68
1000	253.84	97.71	46.18
2000	253.84	97.71	46.18
5000	253.84	97.71	46.18
10000	253.84	97.71	46.18

Precipitaciones en Exceso Aplicando la Reducción a N en mm.

**Tiempo de Retorno y Tormenta de diseño*

5. GASTOS DE DISEÑO

Existen diferentes modelos lluvia-escorrentamiento, en este caso en particular se consideran tres de los más aceptados, el método del Hidrograma Unitario, el método Racional y el método de Chow.

5.1 Método del Hidrograma Unitario

Este método es el propuesto por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, antes SCS; es uno de los más aceptados dentro del medio profesional hidrológico. Para su obtención es necesario el cálculo del tiempo pico y el gasto pico, y a su vez; esto requieren los siguientes parámetros:

$$\text{Tiempo de Concentración} \dots t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$\text{Tiempo de Retraso} \dots t_r = 0.6 t_c$$

$$\text{Duración en Exceso} \dots d_e = 2\sqrt{t_c}$$

$$\text{Tiempo Pico} \dots t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

$$\text{Tiempo Base} \dots t_b = 2.67 t_p$$

$$\text{Gasto Pico} \dots q_p = \frac{0.555 A}{t_c}$$

Donde:

S = Pendiente del cauce.

L = Longitud del cauce; en metros.

A = Área de la cuenca; kilómetros cuadrados.

Qp; en m³/s/mm

Dado que:

$$A = 0.40 \text{ km}^2$$

$$L = 1,200 \text{ m}$$

$$S = 0.01$$

Se obtuvieron los siguientes resultados para la microcuenca del cauce Principal.

$$t_c = 0.450 \text{ h}$$

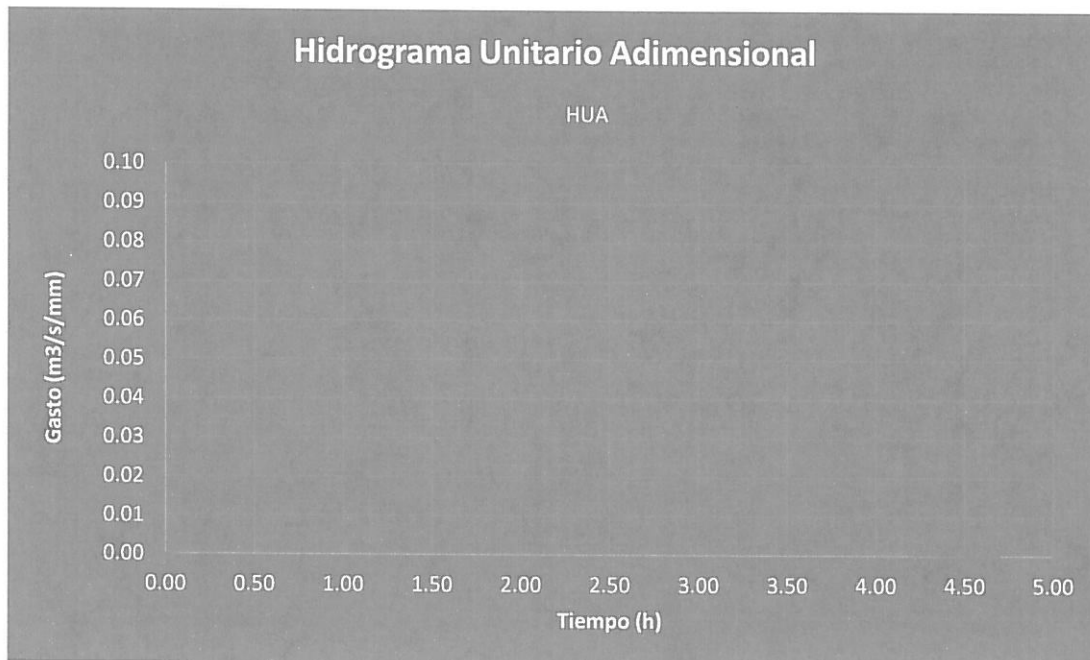
$$d_e = 1.341 \text{ h}$$

$$t_r = 0.270 \text{ h}$$

$$t_p = 0.940 \text{ h}$$

$$t_b = 2.511 \text{ h}$$

$$q_p = 0.0884 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$$



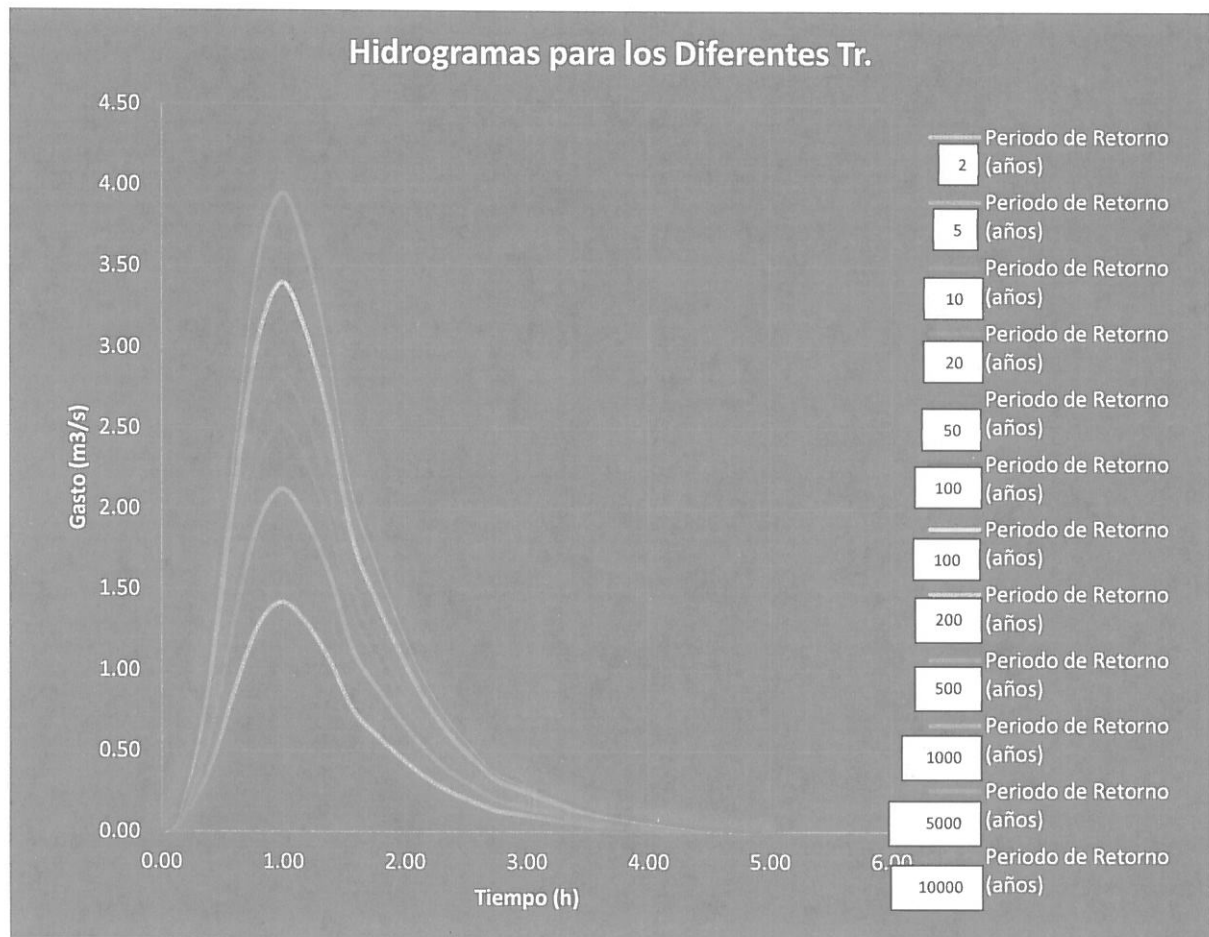
Hidrograma de la Tormenta de Diseño.

Para nuestra tormenta de diseño ($P = 211.26 \text{ mm}$; $P_e = 38.43 \text{ mm}$) asociada a un periodo de retorno de 100 años se tiene un **gasto pico** para el cauce Principal de **$3.40 \text{ m}^3/\text{s}$** .

A continuación se muestran la distribución de la precipitación en tormentas asociadas a diferentes periodos de retorno con respecto al tiempo de duración.

Duración (h)	Periodo de Retorno (años)											
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.018	0.027	0.032	0.036	0.040	0.043	0.043	0.050	0.052	0.052	0.052	0.052
0.19	0.108	0.161	0.192	0.214	0.240	0.258	0.258	0.300	0.310	0.310	0.310	0.310
0.28	0.224	0.336	0.400	0.446	0.499	0.538	0.538	0.625	0.646	0.646	0.646	0.646
0.38	0.394	0.591	0.705	0.785	0.879	0.946	0.946	1.100	1.137	1.137	1.137	1.137
0.47	0.609	0.913	1.089	1.213	1.358	1.463	1.463	1.700	1.757	1.757	1.757	1.757
0.56	0.851	1.275	1.521	1.695	1.897	2.043	2.043	2.375	2.455	2.455	2.455	2.455
0.75	1.264	1.893	2.258	2.515	2.816	3.033	3.033	3.526	3.644	3.644	3.644	3.644
0.94	1.416	2.121	2.530	2.818	3.155	3.398	3.398	3.951	4.083	4.083	4.083	4.083
1.13	1.300	1.946	2.322	2.586	2.896	3.119	3.119	3.626	3.747	3.747	3.747	3.747
1.32	1.067	1.597	1.906	2.123	2.376	2.560	2.560	2.975	3.075	3.075	3.075	3.075
1.50	0.753	1.128	1.345	1.498	1.677	1.807	1.807	2.100	2.171	2.171	2.171	2.171
1.69	0.592	0.886	1.057	1.177	1.318	1.420	1.420	1.650	1.706	1.706	1.706	1.706
1.88	0.457	0.685	0.817	0.910	1.018	1.097	1.097	1.275	1.318	1.318	1.318	1.318
2.07	0.341	0.510	0.609	0.678	0.759	0.817	0.817	0.950	0.982	0.982	0.982	0.982
2.26	0.251	0.376	0.448	0.499	0.559	0.602	0.602	0.700	0.724	0.724	0.724	0.724
2.44	0.188	0.282	0.336	0.375	0.419	0.452	0.452	0.525	0.543	0.543	0.543	0.543
2.63	0.134	0.201	0.240	0.268	0.300	0.323	0.323	0.375	0.388	0.388	0.388	0.388
2.82	0.108	0.161	0.192	0.214	0.240	0.258	0.258	0.300	0.310	0.310	0.310	0.310
3.29	0.054	0.081	0.096	0.107	0.120	0.129	0.129	0.150	0.155	0.155	0.155	0.155
3.76	0.027	0.040	0.048	0.054	0.060	0.065	0.065	0.075	0.078	0.078	0.078	0.078
4.23	0.009	0.013	0.016	0.018	0.020	0.022	0.022	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026
4.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*Distribución de la Precipitación HUT. *Datos en Amarillo Corresponden al Gasto Pico.*



Hidrogramas para Diferentes Tr, Cauce Principal.

5.2 Método Racional

Este es uno de los métodos más antiguos que existe, más sin embargo su fiabilidad se demuestra con su aun implementación. El meto racional postula la siguiente formula:

$$Q_p = 0.278 C i A_c$$

Donde C es un coeficiente de escurrimiento, que representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa, Qp es el gasto máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad i en una cuenca de área Ac.

La intensidad de una lluvia es la tasa promedio en milímetros por hora para una cierta cuenca. La intensidad se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño y el periodo de retorno, de tal manera que:

$$i = \frac{P}{D}$$

Donde i es la intensidad (mm/h), P es la precipitación de diseño (mm) y D es la duración de diseño (h).

La duración de diseño es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración.

Para este caso la precipitación de diseño es de 211.26 milímetros (ajuste probabilístico) y tanto la duración (tiempo de concentración) como el área son respectivo para cada microcuenca.

Para el microcuenca del cauce Principal se tiene una $i = 469.47$ mm/h. El coeficiente de escurrimiento calculado fue de 18.19% y el área es de 0.40 Km^2 .

Aplicando la formula racional se tiene un Gasto Máximo de $9.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.3 Método de Chow

El modelo propuesto por Ven Te Chow se basa en el concepto del hidrógrafo unitario y del sintético y es aplicable a una cuenca pequeña en la cual el escurrimiento es sensible a lluvias intensas y de corta duración y donde las características físicas de la cuenca con respecto a las del cauce. La cuenca pequeña puede variar desde unos cuantos kilómetros cuadrados de extensión hasta un límite que Chow considera de 250 kilómetros cuadrados. El escurrimiento está gobernado por tres tipos de factores: climatológicos, físicos y geométricos de la cuenca.

El primero incluye principalmente la lluvia y evapotranspiración. El segundo, se refiere a las características físicas de la cuenca y del cauce (infiltración) y el tercero, las geométricas como área, pendiente, etc.

La fórmula final descrita en el método para calcular el gasto es la siguiente

$$Q_p = 2.78 * A * Z * X$$

Donde:

A = Area de la cuenca (km^2)

Z = Factor de Reduccion del pico, Adimensional

X = Factor de Escurrimiento (cm/h)

Se le denomina factor de escurrimiento " X " a la relacion entre el Precipitacion en exceso (Pe) y la duracion de la tormenta (d).

$$X = \frac{Pe}{d} = \frac{3.843}{0.45} = 8.54 \text{ cm/h}$$

En los casos en que se cuenta con la información climatológica adecuada, es decir; que se conoce la lluvia presentada en la cuenca en estudio en relación a la lluvia presentada a la estación en que se basa el arreglo probabilístico, el coeficiente 2.78 puede ser modificado por el factor "Y", que es el cociente entre la lluvia presentada en la cuenca y la presentada o registrada en la estación base. Todo lo anterior para la misma duración de lluvia "d".

El factor de reducción "Z", es la relación entre el gasto pico de un hidrograma unitario debido a una lluvia de duración dada "d" y el escurrimiento de equilibrio, o sea; el escurrimiento de la misma intensidad de lluvia pero de duración infinita.

El valor de "Z" se puede determinar como una función de relación entre la duración de la tormenta "d" y el tiempo de retraso, el cual se define como el intervalo de tiempo medido del centro de masa de un bloque de intensidad de lluvia, al pico resultante del hidrograma. Para un hidrograma unitario instantáneo, o sea un hidrograma hipotético, cuya duración de lluvia en exceso se aproxima a cero como un límite, mientras se mantiene fija la cantidad de lluvia en exceso igual a 1 cm, el tiempo de retraso es igual al tiempo pico de escurrimiento.

Ven Te Chow propuso la siguiente ecuación para describir el tiempo de retraso

$$tr = 0.00505 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} =$$

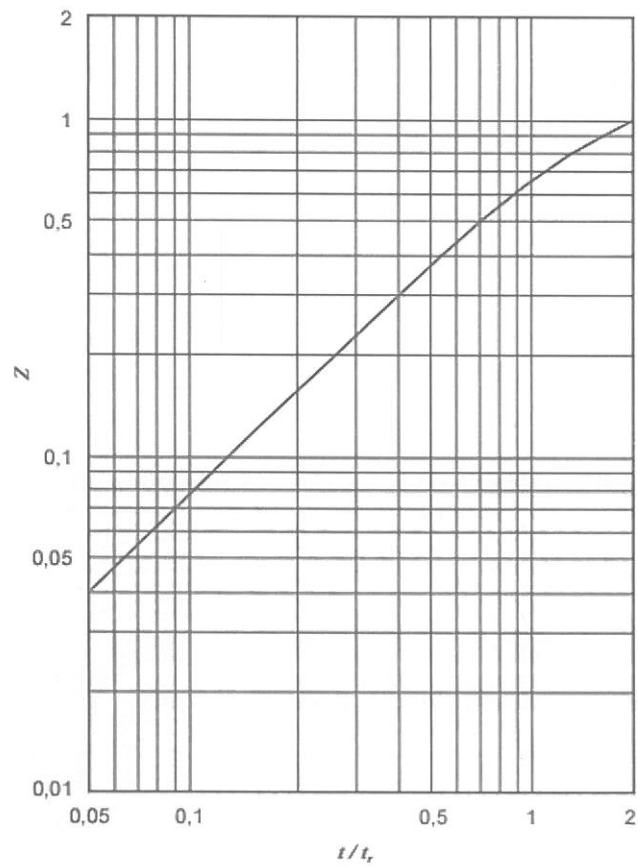
donde:

L= longitud del cauce principal (m)

S=pendiente del cauce principal (s)

Para obtener factor de reducción "Z" se usa la siguiente figura, donde se ingresa por la abscisa con el cociente de la relación duración de tormenta que en este caso será el tiempo de concentración y el tiempo de retraso que se describió en esta sección

$$\begin{aligned} tr &= 2.06 \text{ horas} \\ t &= tc = 0.45 \text{ horas} \\ d/tr &= t/tr = 0.218 \\ Z &= 0.17 \end{aligned}$$



Obtención del factor de reducción del pico Z , con base en la relación t/t_r

El valor del factor "Z" es **0.17** y el caudal con este método de Chow, es **$Q_p = 1.61$**

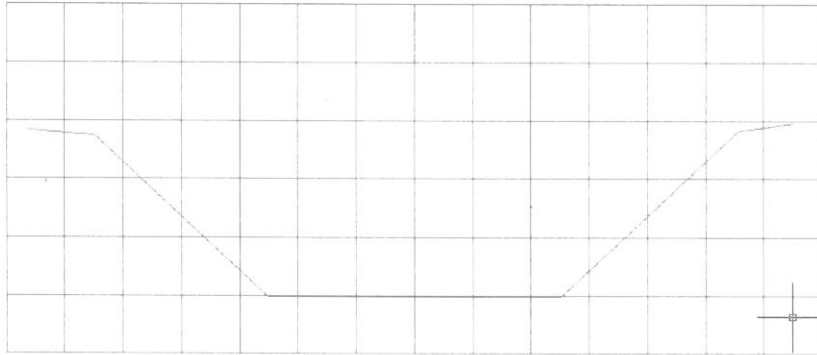
5.4 Selección del gasto de diseño

Se obtuvieron los siguientes gastos con los métodos más usados en la región para el cálculo de los mismos, los gastos calculados fueron al periodo de retorno de 100 años, los cuales se representan en la siguiente tabla, que es el que se requiere para el diseño de canales y drenajes pluviales en zonas urbanas.

Cuenca	HUT	Racional	Chow
Cauce Principal	3.40	9.50	1.61

Resumen Gastos de Diseño.

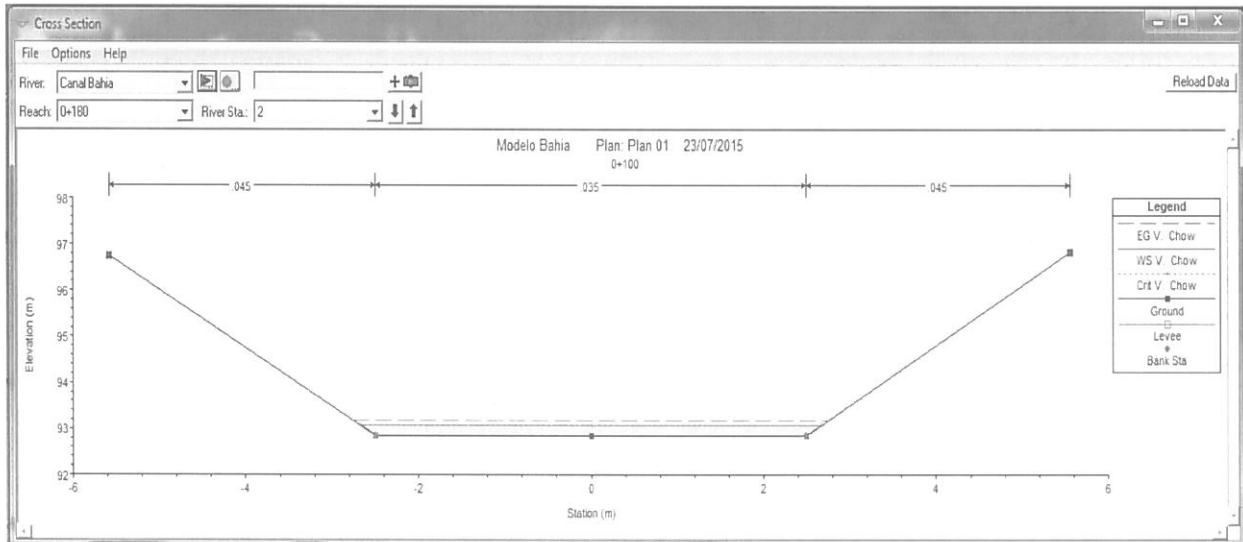
La sección tipo que presenta el cauce que pasa en el predio es la siguiente.



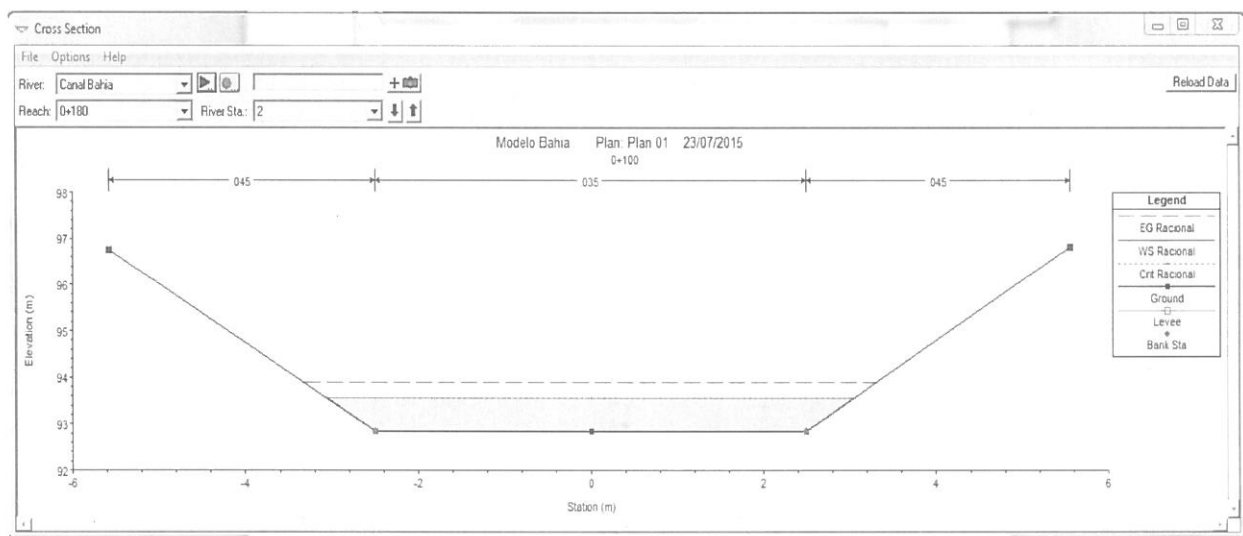
Se realizó el tránsito de los gastos obtenidos, a fin de verificar si las dimensiones del cauce soportan estos, para esto se utilizó el programa Hec-Ras, donde se simuló los gastos obtenidos.

Los resultados indican que el cauce soporta los gastos obtenidos por los métodos aplicados para un periodo de retorno de 100 años que se presenten en la zona, se consideró una pendiente del 2% en la longitud del predio.

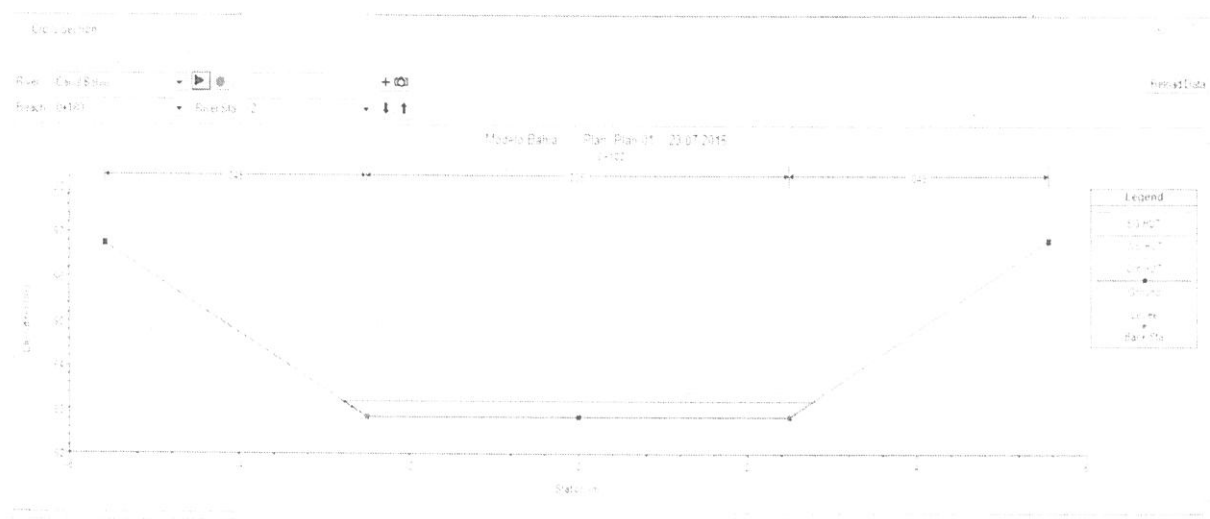
Para el gasto obtenido por el método de Chow, el tirante de agua en el cauce se presenta a continuación:



Para el gasto obtenido por el método de Racional, el tirante de agua en el cauce se presenta a continuación:



Para el gasto obtenido por el método de Hut, el tirante de agua en el cauce se presenta a continuación:




Por lo tanto se concluye que las dimensiones del cauce tiene la capacidad de drenar las aguas que se presentan en la zona con suficiente holgura, sin presentar un riesgo para el predio en cuestión.

Se recomienda se conforme la pendiente del cauce tomando en cuenta la sección aguas abajo, a la salida del predio.

Estudio realizado por el Ingeniero Civil José Jayro Torres Torres con cedula profesional 2811317, emitida por la SEP.

Atentamente


José Jayro Torres Torres